



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS

CARLOS EDUARDO OLIVEIRA SANTOS

QUALIDADE DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO POÇÃO DA
RIBEIRA: UMA AVALIAÇÃO COM BASE EM TÉCNICAS
ESTATÍSTICAS MULTIVARIADAS E NOS PROCESSOS
GEOQUÍMICOS DE SALINIZAÇÃO

SÃO CRISTOVÃO – SERGIPE

2016

CARLOS EDUARDO OLIVEIRA SANTOS

QUALIDADE DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO POÇÃO DA
RIBEIRA: UMA AVALIAÇÃO COM BASE EM TÉCNICAS
ESTATÍSTICAS MULTIVARIADAS E NOS PROCESSOS
GEOQUÍMICOS DE SALINIZAÇÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Recursos Hídricos como um dos
requisitos para obtenção do título de Mestre em
Recursos Hídricos

Orientador: Prof. Dr. José Patrocínio Hora Alves

SÃO CRISTOVÃO – SERGIPE

2016

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

S237q Santos, Carlos Eduardo Oliveira
Qualidade da água do reservatório Poção da Ribeira : uma avaliação com base em técnicas estatísticas multivariadas e nos processos geoquímicos de salinização / Carlos Eduardo Oliveira Santos ; orientador José do Patrocínio Hora Alves. – São Cristóvão, 2016.
97 f. : il.

Dissertação (mestrado em Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Sergipe, 2016.

1. Recursos hídricos. 2. Reservatórios – Sergipe. 3. Água – Qualidade – Medição. 4. Geoquímica analítica. 5. Análise multivariada. I. Alves, José do Patrocínio Hora, orient. II. Título.

CDU 556.551(813.7)

CARLOS EDUARDO OLIVEIRA SANTOS

QUALIDADE DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO POÇÃO DA
RIBEIRA: UMA AVALIAÇÃO COM BASE EM TÉCNICAS
ESTATÍSTICAS MULTIVARIADAS E NOS PROCESSOS
GEOQUÍMICOS DE SALINIZAÇÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Recursos Hídricos como um dos
requisitos para obtenção do título de Mestre em
Recursos Hídricos

APROVADA: 29 de fevereiro de 2016



Prof. Dr. José Patrocínio Hora Alves
Orientador



Dr. Ronaldo Souza Rezende



Dr.ª Angélica Baganha Ferreira

SÃO CRISTOVÃO – SERGIPE

2016

AGRADECIMENTO

Esse trabalho contou com o apoio do projeto “Monitoramento de Mananciais Superficiais e Reservatórios de Sergipe”, convênio 001/2012 entre a Secretária de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado de Sergipe (SEMARH) e o Instituto Tecnológico e de Pesquisas de Sergipe (ITPS). Por isso, apresentamos os nossos agradecimentos à SEMARH e ao ITPS.

RESUMO

O presente trabalho objetivou analisar a variação temporal e espacial dos parâmetros da qualidade da água do reservatório Poção da Ribeira, localizado no Agreste Central do estado de Sergipe, tendo capacidade de acumulação de 16,5 hm³ e como propósito primário a irrigação. O monitoramento foi realizado em duas fases, a primeira delas durante os anos de 2013 e 2014, com a amostragem nos períodos seco e chuvoso desses anos, em um ponto único (P0), já para a segunda fase do monitoramento, ocorrida durante o ano de 2015, buscou-se avaliar a existência de variação espacial dos parâmetros, para isto foram escolhidos três pontos (P1, P2 e P3) distribuídos no reservatório e verificada a existência de estratificação da coluna d'água, sendo realizadas neste ano três campanhas de amostragem (maio, agosto e novembro). Em loco foram realizadas as medidas de temperatura da água e profundidade. Para as amostras de água encaminhadas ao laboratório foram analisados os seguintes parâmetros: turbidez, pH, alcalinidade, dureza, oxigênio dissolvido (OD), carbono orgânico dissolvido (COD), coliformes termotolerantes, fósforo total (P_{total}), fosfato (PO₄³⁻), amônia (NH₃), nitrato (NO₃⁻), nitrito (NO₂⁻), condutividade elétrica (CE), sólidos totais dissolvidos (STD), sódio (Na⁺), potássio (K⁺), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), bicarbonatos (HCO₃⁻), sulfatos (SO₄²⁻) e cloretos (Cl⁻). Foi verificada variação sazonal significativa para os parâmetros da qualidade da água, quanto a variação espacial, não foi evidenciada compartimentalização horizontal das águas do reservatório, em contra partida, verificou-se a existência de forte estratificação da temperatura durante a estação seca, aumento da condutividade elétrica a partir de 8 m de profundidade durante a estação chuvosa e forte abaixamento do pH na primeira coleta de 2015. A análise estatística multivariada de agrupamentos mostrou a existência de três grupos estatisticamente significativos, sendo revelado pela análise de componentes principais (ACP) que 99,0 % da variância da matriz de dados foi devido a três componentes principais (CP), sendo a primeira componente (CP1), com maior peso associado à CE, responsável por 94,0 % da variabilidade da qualidade da água. Foi demonstrada, utilizando o estudo geoquímico, a predominância de águas do tipo sódicas/cloretadas, sendo estas classificadas, quanto ao seu uso na irrigação, como C₂S₁.

Palavras Chave: Poção da Ribeira. Reservatórios. Hidrogeoquímica. Análise Estatística Multivariada.

ABSTRACT

This study aimed to analyze the temporal and spatial variation of the parameters of the water quality of the Poção da Ribeira reservoir, located in Sergipe State, with storage capacity of 16.5 hm³ and how primary purpose the irrigation. The monitoring was conducted in two phases, the first of them during the years 2013 and 2014, with sampling during the dry and rainy seasons of those years, at a single point (P0), while for the second phase of monitoring occurred during the year 2015, was sought to evaluate the existence of spatial variation of parameters for this were chosen three points (P1, P2 and P3) distributed in the reservoir and checked for stratification of the water column, being held this year three sampling campaigns (May, August and November). In situ were performed measures the temperature of the water depth. For water samples sent to the laboratory the following parameters were analyzed: Turbidity, pH, alkalinity, hardness, dissolved oxygen (DO), dissolved organic carbon (DOC), fecal coliforms, total phosphorus (P_{total}), phosphate (PO₄³⁻), ammonia (NH₃), nitrate (NO₃⁻), nitrite (NO₂⁻), electrical conductivity (EC), total dissolved solids (TDS), sodium (Na⁺), potassium (K⁺), calcium (Ca²⁺), magnesium (Mg²⁺), bicarbonates (HCO₃⁻), sulfate (SO₄²⁻) and chloride (Cl⁻). There was a significant seasonal variation for water quality parameters, as the spatial variation was no evidence of horizontal compartmentalization of the reservoir water in against departure, there was strong stratification of temperature during the dry season, increasing the electrical conductivity from 8 m depth during the rainy season and strong lowering of the pH in the first collection in 2015. The multivariate statistical cluster analysis showed the existence of three statistically significant groups, being revealed by principal component analysis (PCA) that 99.0% of the variance of the data matrix was due to three main components (PC), the first component (PC1), with greater weight associated with the EC, accounting for 94.0% of the variability of water quality. It has been shown by geochemical study, the prevalence of type sodic/chlorinated waters, which are classified as to their use in irrigation, as C₂S₁.

Keywords: Poção da Ribeira. Reservoirs. Hydrochemistry. Multivariate Statistical Analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Camadas de ambientes lacustres durante estratificação térmica.....	20
Figura 2 – Diagrama Trilinear de Piper.....	25
Figura 3 - Diagrama Catiônico de Gibbs.....	26
Figura 4 – Diagrama de Wilcox para classificação das águas para irrigação.....	32
Figura 5 – Localização do Reservatório Poção da Ribeira.....	35
Figura 6 – Localização dos sítios de amostragem	39
Figura 7 – Variação da Sazonal da Temperatura da água do reservatório Poção da Ribeira...	43
Figura 8 – Variação sazonal da turbidez da água do Reservatório Poção Ribeira	45
Figura 9 – Variação sazonal do pH da água do reservatório Poção da Ribeira.....	47
Figura 10 – Variação sazonal da alcalinidade e dureza na água do reservatório Poção da Ribeira	49
Figura 11 – Variação sazonal do OD e COD para o reservatório Poção da Ribeira em 2015 e Limite para OD estabelecido pela CONAMA 357/05.....	52
Figura 12 – Variação sazonal do fósforo total (P_{total}) nas águas do reservatório Poção da Ribeira	57
Figura 13 - Variação sazonal do fosfato ($P - PO_4$) nas águas do reservatório Poção da Ribeira	57
Figura 14 – Variação sazonal das formas de nitrogênio inorgânico dissolvido na água do reservatório Poção da Ribeira.....	58
Figura 15 – Variação espacial dos nutrientes para as amostras de água coletadas em CH.15.	59
Figura 16 – Correlação da CE com os STD na água do reservatório Poção da Ribeira.....	61
Figura 17 – Variação sazonal do CE e STD na água do reservatório Poção da Ribeira	62
Figura 18 – Variação sazonal dos cátions na água do reservatório Poção da Ribeira.....	63
Figura 19 – Variação sazonal dos ânions na água do reservatório Poção da Ribeira.....	64
Figura 20 – Perfil térmico da coluna d'água para o ano de 2015.....	68
Figura 21 – Perfis de CE e STD na coluna d'água do reservatório Poção da Ribeira	70
Figura 22 – Perfis do pH na coluna d'água do reservatório Poção da Ribeira	72
Figura 23 – Dendograma das similaridades dos períodos sazonais de amostragem.	75
Figura 24 – Diagrama de Dispersão para as Componentes CP 1 e CP 2	79
Figura 25 – Diagrama de Piper para as águas do reservatório Poção da Ribeira nos períodos chuvosos do monitoramento.....	81

Figura 26 – Diagrama de Piper para as águas do reservatório Poção da Ribeira nos períodos secos do monitoramento.	82
Figura 27 – Diagrama de Wilcox para a classificação das águas.....	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação das águas de irrigação quanto ao risco de salinidade	30
Tabela 2 – Classificação das águas de irrigação quanto ao risco de sodicidade	30
Tabela 3 – Características batimétricas do Reservatório Poção da Ribeira	34
Tabela 4 – Metodologia Analítica utilizada	40
Tabela 5 – Dados da Qualidade da água do reservatório Poção da Ribeira para a 1ª fase e médias da 2ª fase do monitoramento.	42
Tabela 6 – Variação espacial da temperatura da água do reservatório Poção da Ribeira em 2015	44
Tabela 7 – Variação espacial da turbidez da água do Reservatório Poção da Ribeira.....	46
Tabela 8 – Classificação das águas quanto a sua dureza.....	50
Tabela 9 – Variações espaciais dos parâmetros pH, alcalinidade e dureza para as coletas realizadas em 2015	51
Tabela 10 – Variação espacial dos parâmetros OD e COD para o reservatório Poção da Ribeira em 2015	54
Tabela 11 – Valores de coliformes termotolerantes nas águas (NMP/100mL) do reservatório Poção da Ribeira.....	55
Tabela 12 – Variação espacial dos nutrientes nas águas do reservatório Poção da Ribeira para CH.15.....	60
Tabela 13 – Ordem de dominância iônica das águas do reservatório Poção da Ribeira	65
Tabela 14 – Variação da temperatura com a profundidade para o reservatório Poção da Ribeira em 2015	67
Tabela 15 – Variação da CE e STD com a profundidade para o reservatório Poção da Ribeira em 2015	69
Tabela 16 – Pesos dos parâmetros da qualidade da água para as componentes principais	77
Tabela 17 – Classificação das águas quanto aos íons dominantes	83

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS.....	16
2.1. GERAL	16
2.2. ESPECÍFICOS	16
3. REVISÃO DA LITERATURA.....	17
3.1. QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS.....	17
3.2. CLASSIFICAÇÃO GEOQUÍMICA DAS ÁGUAS.....	22
3.3. QUALIDADE DA ÁGUA PARA PROPÓSITOS DE IRRIGAÇÃO	29
4. MATERIAIS E MÉTODOS	33
4.1. ÁREA DE ESTUDO	33
4.1.1. Agreste Central Sergipano.....	33
4.1.2. Reservatório Poção da Ribeira	34
4.1.3. Perímetro Irrigado Poção da Ribeira	37
4.2. AMOSTRAGEM	38
4.3. TRATAMENTO DE DADOS	41
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5.1. TEMPERATURA E TURBIDEZ.....	43
5.2. pH, ALCALINIDADE E DUREZA	47
5.3. OXIGÊNIO DISSOLVIDO E CARBONO ORGÂNICO DISSOLVIDO.....	51
5.4. COLIFORMES TERMOROLERANTES	55
5.5. NUTRIENTES (P_{total} , PO_4^{3-} , NO_3^- , NO_2^- e NH_3).....	56
5.6. CONDUTIVIDADE ELÉTRICA, SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS e ÍONS MAIORES	60
5.7. ESTRATIFICAÇÃO TÉRMICA E QUÍMICA	65
5.8. ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA	74
5.8.1. Análise de Agrupamento Hierárquico	74

5.8.2. Análise de Componentes Principais	76
5.9. GEOQUÍMICA DAS ÁGUAS DO RESERVATÓRIO POÇÃO DA RIBEIRA	80
5.10. QUALIDADE DA ÁGUA PARA PROPÓSITOS DE IRRIGAÇÃO.....	83
6. CONCLUSÕES.....	86
REFERÊNCIAS	88
APÊNDICE – A	96
APÊNDICE – B.....	97

1. INTRODUÇÃO

A irregularidade na distribuição de água sobre o planeta, seja espacial ou temporal, tem sido uma questão corriqueira ao longo da história do homem, essa problemática levou o ser humano a buscar soluções para equacionar a disponibilidade hídrica por meio de intervenções nos ecossistemas naturais, e desta forma, espalhando por todo o mundo uma pluralidade de empreendimentos com propósitos diversos, porém com objetivo semelhante de adquirir maior garantia no suprimento de água.

Historicamente, a implantação de reservatórios de regularização tem sido instrumento na busca da sustentabilidade em regiões onde os recursos hídricos são limitados ou apresentam uma distribuição temporal irregular (ASFORA; CIRILO, 2005). Segundo Marengo (2008), 62% do território nordestino encontra-se em zona semiárida, com pluviosidade abaixo dos 800 mm por ano, denominada Polígono das Secas. Tal área é povoada por aproximadamente 30 milhões de habitantes, o que a torna a zona semiárida mais populosa do mundo, por isso o semiárido nordestino se constitui na região com maior densidade de reservatórios do país (MENESCAL *et al.*, 2004, *apud* FREIRE 2007), pois os *açudes* são equipamentos de transformação e adaptação das potencialidades naturais às demandas regionais.

Reservatórios são sistemas aquáticos modificados que apresentam como principais funções a manutenção da vazão dos cursos de água e atendimento às variações da demanda, são construídos pelo barramento artificial de um vale natural ou pela formação artificial de lagos com vazões defluentes sujeitas a controle (CRUZ; FABRIZY, 1995; PRADO, 2002). De acordo com Asfora e Cirilo (2005), a implantação de reservatórios de regularização modifica a permanência das vazões nos rios e altera a garantia do suprimento de água a jusante do reservatório, tais empreendimentos são bastante utilizados para o aproveitamento do potencial hidroelétrico dos rios, contenção de enchentes, navegação, abastecimento industrial, atividades de pesca e recreação, abastecimento humano e usos agropecuários.

Em consequência da formação de reservatórios artificiais para acumulação de água, ocorrem alterações nos processos físicos, químicos e biológicos do rio. Segundo Thomaz *et al.*, (1997), a construção de uma barragem implica no imediato aumento do tempo de residência da água do antigo ecossistema lótico. Essa transformação inicial seria a principal responsável por uma série de alterações nas características limnológicas observadas nas áreas represadas e a jusante delas, sendo o comportamento térmico da coluna d'água, os padrões de

sedimentação, a circulação das massas de água, a dinâmica dos gases, a ciclagem de nutrientes e a estrutura das comunidades aquáticas os fatores mais influenciados pelo aumento do tempo de residência (RODRIGUES, 2012). As alterações ocorridas no ecossistema devido ao barramento das águas refletem significativamente na qualidade do manancial, já que a dinâmica natural do ambiente aquático foi alterada fazendo com que as interações deste com a bacia de drenagem na qual está inserido também sejam modificadas.

Reservatórios de barragens recebem o excedente hídrico escoado nos eventos pluviométricos capazes de superar as abstrações iniciais de sua bacia e os guarda para disponibilizar a água nos períodos de estio (ARAÚJO, 2012). Por ser um solvente quimicamente muito ativo, a água interage com as superfícies que tem contato, incorporando substâncias orgânicas e inorgânicas, sendo estas interações responsáveis pela constituição química desta água. Os constituintes presentes na água, considerando-se apenas os processos naturais, resultam de processos físicos e químicos de intemperismo de rochas. Assim são formados minerais secundários e liberados íons solúveis que são incorporados ao ambiente aquático. Para Cruz *et al.*, (2010), o processamento das vazões afluentes e das cargas de materiais dissolvidos e em suspensão, ocorrido no interior do reservatório, as características construtivas e a operação da barragem irão determinar a quantidade e a qualidade das águas para a jusante.

O conteúdo iônico das águas superficiais é determinado principalmente pelos cátions Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ e K^+ e pelos ânions HCO_3^- , SO_4^{-2} e Cl^- , sendo que a variação e composição desses íons na água são influenciadas pelo ambiente terrestre, pelo clima, pelo intercâmbio entre água e sedimento e pelas atividades humanas (PAYNE, 1986). Para Ayres e Westcot (1991), esses íons encontram-se em quantidades relativamente pequenas, porém significantes e tem sua origem na dissolução ou intemperismo de rochas e solos, incluindo a dissolução lenta do calcário, gesso e de outros minerais. Já para Gibbs (1970), os principais mecanismos naturais que controlam a composição química das águas superficiais são: (I) precipitação atmosférica, processo responsável pela composição química dos mananciais localizados em áreas com elevada precipitação; (II) intemperismo das rochas, ocorre geralmente em áreas de precipitação intermediária; e (III) evaporação-cristalização, processo natural de maior influência em mananciais localizados em regiões de baixa precipitação (áridas e semiáridas).

Segundo Mansor (2006), na área rural a drenagem de solos agrícolas, tanto pela precipitação pluviométrica quanto pelo fluxo de irrigação, são responsáveis por carrear para o

corpo d'água sedimentos, quando há erosão, nutrientes e defensivos agrícolas, além de resíduos originários da pecuária. Holt (2000), afirma que sem as praticas de manejo do solo, a qualidade da água pode ser afetada por quatro vias: (I) emissão direta de agroquímicos durante a aplicação; (II) carreamento dos poluentes por águas de irrigação ou drenagem; (III) lixiviação; (IV) criadouros dentro ou fora dos mananciais (caranguejos, peixes, etc.).

A gestão eficaz dos recursos hídricos requer uma compreensão das características físicas, químicas e biológicas dos sistemas aquáticos avaliados. Segundo Barbosa (2002) a análise espaço-temporal das variáveis limnológicas básicas e das concentrações de nutrientes de um ambiente aquático pode fornecer um quadro diagnóstico de suas condições ecológicas. No entanto, devido à variação espacial e temporal da qualidade da água, um programa de monitoramento, fornecendo uma estimativa representativa e confiável da qualidade das águas superficiais, se faz necessário (DIXON; CHISWELL, 1996). Desta forma, a aplicação de ferramentas estatísticas multivariadas associadas a métodos gráficos e diagramas de classificação facilita a interpretação da complexa matriz de dados, promovendo uma melhor compreensão das características da água e o entendimento do seu padrão geoquímico, além de indicar a conveniência ou as limitações dos recursos hídricos para os seus mais diversos usos (CUSTÓDIO; LLAMAS, 1983; GÜLER *et al.*, 2002; GASTMANS, 2007; SHERESTHA; KAZAMA, 2007).

A importância de estudos desta natureza está na detecção e predição de processos de eutrofização, salinização, contaminação, além de atuarem como uma ferramenta útil na busca de propostas e soluções que viabilizem o aumento da vida útil desses ecossistemas (BARBOSA, 2002).

O reservatório Poção da Ribeira é um projeto elaborado originalmente para fornecer água ao perímetro irrigado Poção da Ribeira, que é um importante centro produtor de hortaliças do estado de Sergipe e por tanto, contribui para a sustentabilidade do progresso da região. Hoje este manancial também é utilizado para o abastecimento, após tratamento, das comunidades circunvizinhas. Neste sentido o presente trabalho objetivou analisar a variação temporal e espacial dos parâmetros físicos, químicos e biológicos da qualidade da água do reservatório Poção da Ribeira, localizado no agreste central do estado de Sergipe.

2. OBJETIVOS

2.1. GERAL

Avaliar a variação temporal e espacial dos parâmetros físicos, químicos e biológicos da qualidade da água do reservatório Poção da Ribeira, localizado no agreste central do estado de Sergipe.

2.2. ESPECÍFICOS

Determinar a qualidade da água do reservatório, em períodos seco e chuvoso, através da medida de parâmetros gerais da qualidade, nutrientes, coliformes termotolerante e íons maiores;

Determinar a estratificação térmica e química da coluna da água através das medidas, em diferentes profundidades, dos parâmetros: temperatura, pH, condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos;

Aplicar ao conjunto dos dados obtidos, técnicas de estatística multivariada para obter informações sobre a similaridade entre períodos sazonais e identificar os parâmetros responsáveis pela variabilidade da matriz dos dados da qualidade da água;

Classificar a água do reservatório quanto ao conteúdo iônico usando o diagrama de Piper e avaliar a sua qualidade para propósitos de irrigação.

3. REVISÃO DA LITERATURA

A avaliação da qualidade da água possui como um dos seus objetivos indicar a conveniência ou as limitações desta para os seus mais diversos usos, sendo assim, a classificação da água, baseada em parâmetros da qualidade inerentes ao uso pretendido, torna-se uma ferramenta útil à gestão dos recursos hídricos.

3.1. QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS

A qualidade das águas superficiais é resultante de fenômenos naturais e da atuação do homem, pode-se dizer que a *qualidade de uma determinada água* é função das condições naturais e do uso e da ocupação do solo na bacia hidrográfica (VON SPERLING, 2005). Quando se refere aos reservatórios, a situação é ainda mais delicada, visto que impactos negativos consideráveis ocorrem no sistema aquático desde a fase de construção, os quais refletem na qualidade da água destes mananciais (PRADO; 2004). Straskraba *et al.* (1993) mencionaram que a complexidade em manejar a qualidade da água de um reservatório reside na natureza dinâmica desse sistema, na interferência do homem e na variabilidade nos procedimentos de operação sobre os processos ecológicos.

Em estudo realizado na província de Hubei na China, Ma *et al.*, (2011), realizaram a análise das fontes difusas de nitrogênio (N) e fósforo (P) no reservatório Three Gorges, durante o período de 1995 a 2007, com foco principalmente em fontes não pontuais (NPS) agrícolas e rurais. Os autores utilizaram um modelo de coeficiente de exportação (ECM) concebido para determinar a taxa a que são perdidos os nutrientes a partir de cada fonte identificável para a rede de drenagem. Os resultados mostraram que a principal fonte de N total foi a deposição atmosférica, enquanto que para o P total o uso do solo foi demonstrado como principal fonte. Os autores afirmam que a chuva foi a principal responsável pela distribuição sazonal das cargas difusas de poluição, pois o transporte de nutrientes para os corpos d'água superficiais se deu, principalmente, pela ação das águas pluviais e de irrigação, por meio do escoamento superficial e subsuperficial das áreas agrícolas. Os cálculos a partir do modelo adotado obtiveram discordâncias com o monitoramento real, sendo essas associadas a limitações do ECM, como por exemplo: o modelo não leva em consideração a distribuição espacial e temporal da precipitação, usando o mesmo coeficiente de exportação para anos hidrológicos diferentes. Porém os autores concluíram que, apesar das limitações existentes, o ECM se mostrou uma ferramenta de fácil manuseio para a previsão das cargas de

N e P, sendo útil para avaliação dos impactos futuros causados pelo desenvolvimento agrícola da área Three Gorges em Hubei.

Na bacia do Rio Tigre, Turquia, Varol *et al.*, (2012), realizaram um estudo sobre a variação espaço temporal da qualidade da água em três reservatórios (Kralkizi, Dicle e Batman), durante um período de doze meses, objetivando não somente avaliar a variação dos parâmetros da qualidade da água mas também buscando identificar as principais fontes de poluição. Nesse trabalho os autores mostram que houve variação temporal significativa para todos os parâmetros analisados. Tal comportamento não foi observado para a maioria dos parâmetros quando se analisou a variação espacial. Os autores concluíram que os principais parâmetros responsáveis pela variação da qualidade da água foram os sais dissolvidos (natural), parâmetros físicos (natural), nutrientes e poluentes (pontual e difuso) e poluentes orgânicos (antrópico).

Lucena *et al.*, (2008), em estudo realizado em nove reservatórios destinados ao abastecimento público, no estado da Paraíba, utilizaram o Índice de Qualidade de Água (IQA) para avaliar o resultado da ação antrópica na qualidade da água durante o ano de 2007. Os autores optaram por reservatórios distribuídos em três diferentes zonas climáticas do estado da Paraíba, a saber: úmida, sub-úmida e semiárida. No estudo foi observado que os reservatórios localizados na zona climática úmida (zona da mata) apresentaram um número maior de parâmetros em desacordo à resolução nº 357 de 2005 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) para águas doces classe 2 e consequentemente o IQA calculado para esses reservatórios apresentou valores inferiores ao calculado para as demais áreas, os autores atribuíram este fenômeno ao aporte de poluentes devido alto nível de antropização das áreas que circundam tais mananciais.

Na avaliação da qualidade da água realizada em dois reservatórios em avançado estado de “antropismo” (açude Cajueiro e barragem do João Ferreira), localizados na zona periférica do município de Ribeirópolis – Sergipe, Lima e Garcia (2008), verificaram que a água do açude Cajueiro está classificada como salobra, considerando os parâmetros analisados que possuem relação com a salinidade da água, é imprópria para balneabilidade e consumo humano tendo como principal causa o aporte de esgoto e efluentes sem tratamento. Já para a barragem do João Ferreira, sendo classificada como Classe 1, de acordo a CONAMA 357/2005, os autores atribuíram tal classificação a utilização de instrumentos de gestão como

a outorga de uso e a cobrança pelo uso do recurso hídrico, assim como a fiscalização e a educação ambiental, que são ações fundamentais para a preservação do ambiente.

Objetivando avaliar e diagnosticar o estado de evolução trófica dos principais açudes da bacia do rio Taperoá (Açude Taperoá II, Açude Soledade, Açude Namorados e Lagoa Panati) localizados na mesorregião do Cariri Paraibano, Barbosa *et al.*, (2006), utilizaram o Índice de Estado Trófico (IET) de Carlson, modificado para ambientes tropicais por Toledo Jr. *et al* (1983). As coletas foram realizadas sazonalmente, durante os períodos seco e chuvoso dos anos de 2004 e 2005. Os resultados mostraram que o Açude Namorados, classificado como oligotrófico durante a maior parte do estudo, apresentou avanço para o estado mesotrófico durante o período de seca, já para o Açude Soledade os níveis de eutrofização atingiram os valores máximos durante o período de estiagem. Quanto ao Açude Taperoá II sua classificação permaneceu como mesotrófica e a Lagoa Panati se apresentou como oligotrófica, sendo observado para ambos variações do estado trófico durante a estação seca. Os autores observaram um ligeiro acréscimo das condições tróficas na estação de estiagem para todos os ambientes estudados o que os levou a concluir que o estado trófico dos principais açudes da bacia do rio Taperoá sofreu mais influência do clima que das fontes eutrofizantes.

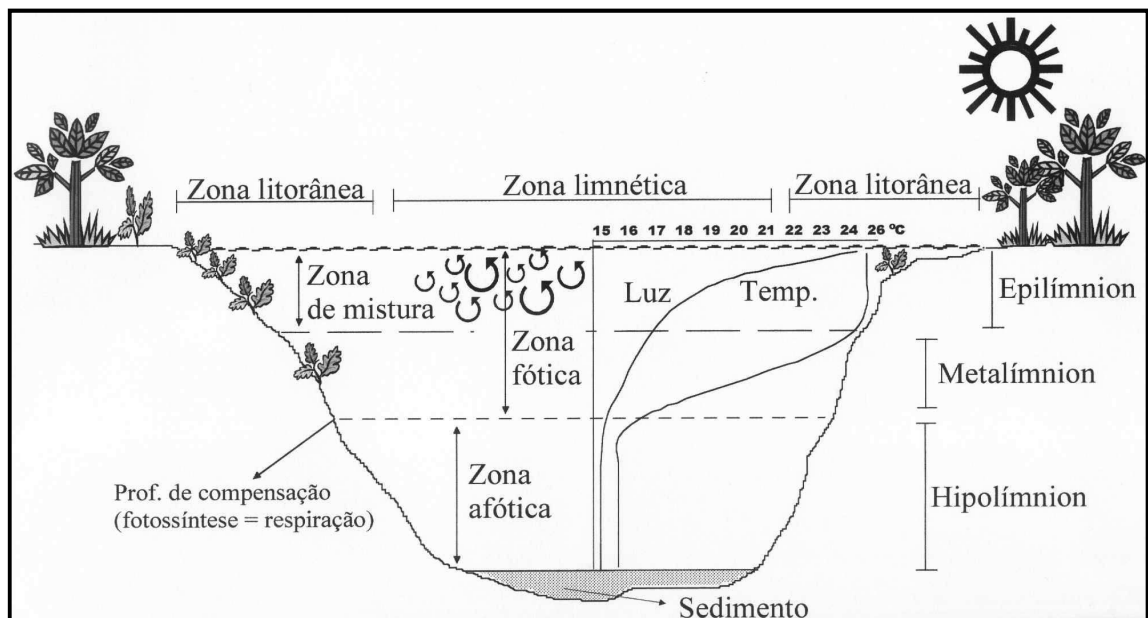
Para o reservatório Jacarecica – I, localizado no município de Itabaiana, no agreste Sergipano, Garcia *et al.*, (2012), utilizando o Índice de Estado Trófico (IET) proposto por Carlson, realizaram a avaliação do estado trófico do manancial citado, além de identificar o nutriente limitante do sistema hídrico. Neste trabalho foi demonstrado que o reservatório Jacarecica I enquadra-se entre oligotrófico e eutrófico, sendo verificado o maior nível do estado trófico no período entre o final da estação seca e início da chuvosa, os autores também verificaram a existência de uma tendência de redução do IET no sentido do rio para a barragem. Quanto à identificação do nutriente limitante, os autores encontraram o nitrogênio como limitante para o período de estiagem e para a estação chuvosa o fosforo se mostrou como nutriente limitante do sistema aquático estudado.

A formação de reservatórios produz forte impacto sobre as condições térmicas das massas de água, interferindo na distribuição de calor, substâncias dissolvidas e nutrientes na coluna d'água. A estratificação térmica é de grande importância para a avaliação da qualidade da água, pois a compreensão desta é significativa para o entendimento do padrão de mistura em lagos e reservatórios (TUCCI; MENDES, 2006; ELÇI, 2008).

Quando a estratificação da temperatura ocorre, formam-se três camadas, como ilustrado na Figura 1, denominadas:

- Epilímnio – Tende a ter a temperatura uniforme e está misturado devido às ações externas como velocidade do vento, radiação solar e saída de vazão;
- Metalímnio – Onde ocorre o maior gradiente de temperatura, também denominado de termoclina, nesta camada há equilíbrio das ações dos ventos, radiação solar e empuxo da massa d'água;
- Hipolímnio – O gradiente é uniforme e a massa de água não sofre ação de forças externas.

Figura 1 – Camadas de ambientes lacustres durante estratificação térmica.



Fonte: Adaptado de Fernandes *et al.*, (2005)

Ações dos ventos, radiação solar, entrada e saída do fluxo de água e suas temperaturas são os principais fatores que influenciam o processo de estratificação. Para os ventos, o processo possui maior importância em grandes áreas de espelhos d'água, associadas a tendências, por períodos prolongados, de altas velocidades dos ventos, esse fator produz turbulência e consequente mistura das diferentes camadas do reservatório (TUCCI; MENDES, 2006). O aquecimento da camada superior, provocado pela radiação solar, produz a expansão e redução de densidade dessas camadas, sendo que, em climas onde existe pouca variação da temperatura ao longo do período sazonal, este fator passa a ser o de maior relevância para a manutenção da estratificação térmica. Já para os fluxos de entrada e saída do

reservatório, a influência é devida às suas características de volume, temperatura e densidade (TUCCI; MENDES, 2006).

Motivado pela degradação da qualidade da água do Lago Tahtali durante os meses de verão, manancial que está localizado em Menderes na Turquia, Elçi (2008) investigou a estrutura da estratificação térmica e suas relações com o vento e condições de fluxo e seu efeito sobre a qualidade da água durante o ano de 2006. Neste trabalho o autor utilizou um Índice de Qualidade da Água, tendo nove parâmetros de avaliação, a investigação da estratificação foi realizada mensalmente, em ponto com profundidade de 18 m e realizando as medições a cada 1 m de profundidade. Foi observada uma variação de bom (79 pontos) a médio (59 pontos) na qualidade da água do inverno para o verão, respectivamente. Quanto à estratificação térmica, o autor verificou que no mês de agosto houve forte estratificação, com o termoclina iniciando à profundidade de 10 m. Com a redução da temperatura do ar, ocorrida em outubro, evidenciou-se uma diminuição da estratificação, proporcionando maior mistura das águas, já para o mês de novembro, com temperaturas do ar inferiores a 17° C, o perfil de temperatura da água se mostrou uniforme em toda coluna d'água. As concentrações de oxigênio dissolvido tiveram comportamento semelhante ao da temperatura, sendo caracterizada por hipolimnio anóxico no verão, aumento da concentração durante o mês de outubro e perfil uniforme durante os meses mais frios. A associação com a ação dos ventos não foi conclusiva, sendo registrada variação apenas da turbidez após rajadas de vento, sendo este indicador sozinho insuficiente para explicar a estratificação.

Para o reservatório Dona Francisca, localizado no estado do Rio Grande do Sul, a avaliação das mudanças nos perfis verticais de variáveis limnológicas e do padrão de compartimentalização deste reservatório foi desenvolvida por Rodrigues *et al.*, (2012). As campanhas de amostragem ocorreram durante um ano, de forma sazonal (verão, outono, inverno e primavera), abrangendo os anos de 2000 e 2001. Foi utilizada garrafa de Van Dorn, sendo amostradas águas em seis estações distribuídas ao longo do canal principal do canal, utilizando intervalos de 5 m de profundidade para cada amostragem na coluna d'água. Os autores verificaram a existência de variação temporal na estratificação térmica e química, observando a formação de três situações distintas: estratificação térmica com desenvolvimento de anoxia no hipolímno durante o verão, circulação, sem mistura total, durante o outono, e circulação com mistura total das águas durante o inverno e a primavera, o que promoveu a oxigenação do hipolímno. Desta forma foi sugerido que o reservatório Dona

Francisca pode ser caracterizado como monomítico quente, com um período de estratificação provavelmente limitado ao verão (novembro a fevereiro).

Muitas vezes, sem um planejamento global adequado, os represamentos causam desperdício e degradação da qualidade da água, em virtude do aumento da concentração de espécies químicas dissolvidas. Este fenômeno, conhecido como salinização, é provocado pela evaporação favorecida pela diminuição do escoamento, aliado à formação de grandes espelhos d'água (SANTOS *et al.*, 2000).

A influência do regime de chuva no processo de salinização em dois reservatórios, um na região semiárida e o outro na região de transição da mata atlântica, ambos localizados no sudoeste do estado da Bahia, foi avaliada por Santos *et al.*, (2011), avaliando a variação temporal da condutividade elétrica e dos teores de sódio, potássio, cálcio e magnésio. O estudo demonstrou que para o reservatório localizado na região semiárida houve maior variação dos parâmetros analisados e por tanto, a influência do regime de chuva na qualidade da água para os reservatórios localizados nesta região foi mais significativa. Os resultados obtidos evidenciaram o aumento das concentrações de espécies químicas monitoradas no período de cheia, esse fenômeno foi atribuído ao escoamento superficial do solo e, principalmente, ao transbordamento de pequenas reservas de água localizadas por toda a bacia de drenagem de ambos os reservatórios estudados.

3.2. CLASSIFICAÇÃO GEOQUÍMICA DAS ÁGUAS

O objetivo primário da geoquímica é entender o comportamento dos sistemas baseados no conhecimento das suas propriedades básicas. As relações entre íons, em termos de razões matemáticas, se destacam claramente como ferramenta útil na detecção de semelhanças e diferenças entre as águas. Sendo o estudo das razões iônicas importante para a interpretação dos processos hidrogeoquímicos responsáveis não só pela composição química, como também por mudanças da qualidade dos recursos hídricos (HEM, 1985; CIRELLI *et al.*, 2004; GRANJEIRO *et al.*, 2009; MERCHÁN *et al.*, 2015).

Buscando identificar os principais processos geoquímicos responsáveis pela composição química de lagos rasos situados na bacia de drenagem do rio Salado, na Província de Buenos Aires, Argentina, Cirelli *et al.*, (2004), mostraram que a composição iônica das águas da área de estudo é fortemente alcalina, como predominância dentre os cátions do sódio e do potássio, não sendo identificado ânion dominante, mas encontraram uma concentração de

sódio muito maior que a de cloreto. Os autores confirmaram, por meio das razões iônicas, relacionando $\text{Ca} + \text{Mg} - (\text{SO}_4 + \text{HCO}_3 + \text{CO}_3)$ com $\text{Na} - \text{Cl}$, a existência de um processo de troca catiônica que influenciou as características das águas. O Diagrama Aniônico de Gibbs demonstrou que os principais mecanismos responsáveis pela composição química das águas da área de estudo foram o intemperismo das rochas e a evaporação-cristalização.

Os principais processos responsáveis pela salinização das águas da Bacia de Lerna, localizado no município de Ejea de los Caballeros, em Zaragoza na Espanha, foram estudados por Merchán *et al.*, (2015), onde os autores buscaram elucidar se o processo de salinização está relacionado com fatores naturais e/ou antropogênicos. As amostragens ocorreram durante os períodos irrigado e não irrigado dos anos de 2011 e 2012, sendo utilizadas amostras de água subterrânea, superficial e de nascentes, além da realização de análises dos solos da região. Os resultados da análise estatística demonstraram que a salinização foi responsável pela maior parte da variabilidade do conjunto de dados. A utilização das razões iônicas sugeriu a dissolução de minerais presentes na formação geológica da área estudada como determinante da composição química dessas águas, demonstrando que o processo de salinização dos recursos hídricos da Bacia de Lerna é predominantemente natural.

Sendo a água um solvente quimicamente ativo, o contato desta com os diferentes componentes das rochas gera uma composição química específica, portanto a constituição geoquímica da água é reflexo da litologia e do grau de intemperismo que dá origem as diferentes características químicas das rochas (NÉGREL, 2006). Segundo Peres Junior (2013) os processos geológicos determinam a composição das rochas e a exposição destas à superfície desencadeiam os processos de intemperismo como, por exemplo, a degradação química, hidrólise, oxidação e redução. O estudo geoquímico das águas naturais fornece informações significativas sobre intemperismo químico da rocha, bem como a composição química do solo e da água, sendo as características químicas da água determinantes para os seus múltiplos usos (GUPTA; BANERJEE, 2012).

A análise de dados hidroquímicos pode ser realizada por meio de diferentes técnicas, cuja aplicação é função do tipo de estudo e dos resultados que se espera atingir, sendo o uso dos íons maiores (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} e Cl^-) como traçadores uma ferramenta bastante comum em estudos hidrogeológicos. (GÜLER, *et al*, 2002; GASTMANS, 2007).

Dentre os métodos de avaliação hidrogeoquímica, destacam-se dois grandes grupos:

- **Métodos Gráficos**, também denominados de diagramas de concentrações de íons;
- **Métodos Estatísticos**, que podem ser univariados ou multivariados.

Para Gastmans (2007), os métodos gráficos são ferramentas importantes para a classificação e entendimento do padrão geoquímico das águas, onde os diagramas trilineares, que apresentam as concentrações em percentagem para cada íon analisado em gráficos triangulares, se mostram como uma das mais utilizadas representações gráficas para a classificação de um conjunto de dados geoquímicos (CUSTÓDIO; LLAMAS, 1983).

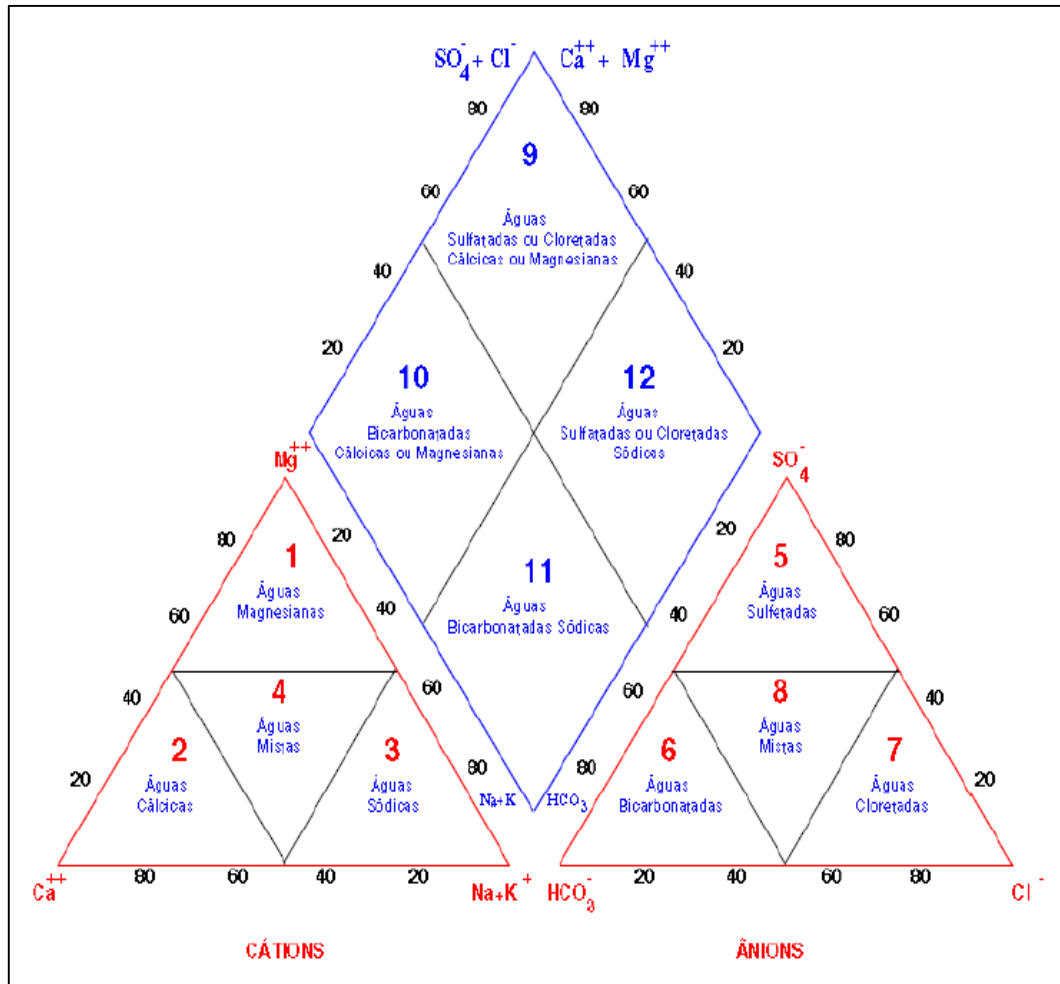
O diagrama de Piper (Figura 2) é frequentemente utilizado para a classificação e comparação de distintos grupos de águas quanto ao seu conteúdo iônico. Esse diagrama, também conhecido como *diagrama trilinear*, é resultante da plotagem das proporções dos cátions (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) e ânions (HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-) principais em dois diagramas triangulares respectivos e combinando as informações de ambos os triângulos em um losango situado entre os mesmos.

Fontes *et al.*, (2007), avaliaram a evolução da salinidade das águas superficiais na área de drenagem da bacia representativa do rio Jacuípe e da bacia experimental do rio Cedro, ambos na região semiárida do estado da Bahia, durante o período de junho de 2006 a abril de 2007, para tal os autores utilizaram os critérios estabelecidos pelo *United States Salinity Laboratory* (USSL) e o método dos íons solúveis dominantes, que baseia-se na relação dos teores dos íons que apresentam maiores concentrações, obtendo a classificação por meio do diagrama de Piper. Neste trabalho foi constatado o aumento da salinização e do risco de sodificação, observando elevação dos teores de sais no sentido das nascentes para foz de ambas as bacias. Sendo observada a predominância do íon cloreto nas águas da região estudada, classificando-as como cloretada sódica, salientando que as nascentes apresentaram baixa salinidade e predominância de águas bicarbonatadas.

Em estudo realizado na micro bacia costeira de Vellar e no rio Coleroon, distrito de Cuddalore, em Tamil Nadu, costa leste da Índia, Rekha *et al.*, (2013), avaliaram os processos geoquímicos que regulam a qualidade das águas subterrâneas em áreas de exploração da cultura do camarão, nos anos de 2008 e 2009, utilizando amostras coletadas em poços de um aquífero pouco profundo. Esse estudo revelou o sódio (Na^+) e o bicarbonato (HCO_3^-) como

íons dominantes nas águas subterrâneas da região de estudo e, com auxílio do diagrama ternário de Piper, os autores sugerem que a elevada composição iônica em alguns locais da área é resultante das trocas catiônicas e da dissolução mineral.

Figura 2 – Diagrama Trilinear de Piper

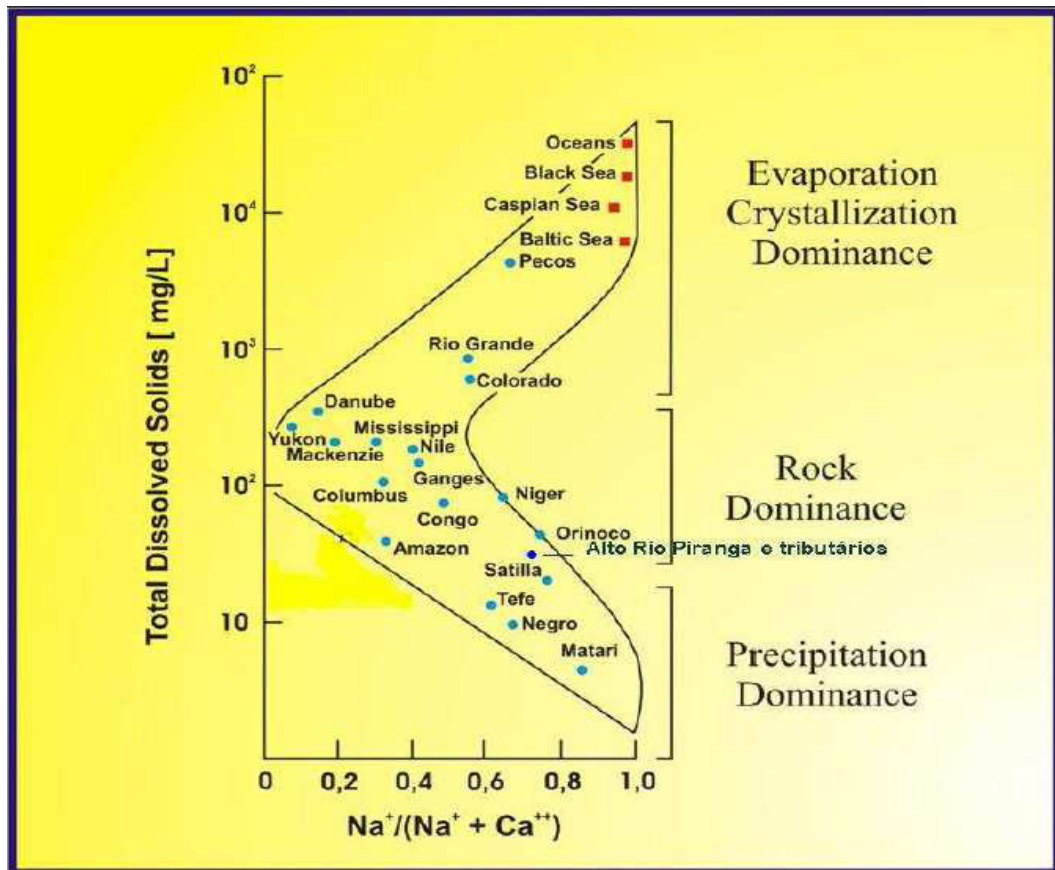


Fonte: (MÖBÜS, 2014).

Uma importante ferramenta utilizada em estudos da composição química das águas superficiais é a metodologia proposta por Gibbs (1970). Segundo este autor, os principais mecanismos naturais que controlam a composição química das águas superficiais são: (I) precipitação atmosférica, (II) intemperismo das rochas e (III) evaporação-cristalização. Os principais cátions que caracterizam as águas superficiais do mundo são Ca^{2+} , para água doce, e Na^+ para águas salinas, Gibbs (1970) sugere que a relação existente entre a razão desses cátions, na forma de $\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+})$, e os Sólidos Totais Dissolvidos (STD), quando plotados em um diagrama em formato de “*boomerang*” (Figura 3), identificam o mecanismo responsável pela composição dessa água. Na extremidade inferior direita do diagrama há predominância da precipitação atmosférica, processo responsável pela composição química

dos mananciais localizados em áreas com elevada precipitação; na extremidade superior direita a evaporação-cristalização predomina, sendo o processo natural de maior influência em mananciais localizados em regiões áridas; enquanto que na região central do “boomerang”, o intemperismo é o processo de maior influência na composição química das águas, ocorre geralmente em áreas de precipitação intermediária.

Figura 3 - Diagrama Catiônico de Gibbs



Fonte: Goulart 2008 Adaptado de Gibbs (1970).

Os principais processos que determinam a composição das águas superficiais e subterrâneas da Bacia Experimental da Gameleira, no município de Aiuaba, sudoeste do Ceará, foram estudados por Pereira *et al.*, (2004), os autores analisaram as águas de três açudes e de três cacimbas durante o período de fevereiro de 2003 a maio de 2004. Nesse estudo foi demonstrado que as águas dos açudes são menos mineralizadas que as águas das cacimbas, apresentando, com a utilização do diagrama de Piper, a predominância da feição do tipo bicarbonatada mista. O diagrama catiônico de Gibbs indicou a interação água-rocha como sendo o principal mecanismo controlador da composição química das águas de dois dos açudes, sendo a precipitação atmosférica responsável pela composição química das águas do terceiro açude.

Utilizando diagramas ternários de composição iônica, Varol *et al.*, (2013), buscaram avaliar as variações espacial e sazonal dos íons maiores, quantificar a geoquímica e processos antropogênicos e identificar os fatores que influenciam a concentração iônica das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Tigre, Turquia. Por causa da influência das atividades antropogênicas e litologia diferenciada na bacia, todos os parâmetros estudados no rio Tigre mostraram variações espaciais significativas. Os resultados do estudo indicaram que as águas da área estudada são levemente alcalinas, sendo a intemperismo de rochas carbonáticas a principal causa da dominância dos íons HCO_3^- e Ca^{2+} , sendo estes responsáveis por aproximadamente 78% da composição iônica dessas águas. A comparação com os padrões da OMS para a água potável indica que a bacia possui alta qualidade de água, estando dentro dos limites de segurança para padrões de água potável.

Em Chennai, capital do estado de Tamil Nadu, na Índia, Kumar *et al.*, (2014), estudaram as características geoquímicas das águas subterrâneas e a sua qualidade quanto ao uso para o abastecimento humano. As coletas foram realizadas em 24 poços selecionados com base na variação geográfica dos poços existentes na área estudada, com profundidade variando entre 80 e 150 m. O estudo revelou que as águas da área variam de doce para salobra, a variação da dureza de moderadamente dura a dura e predominância dos íons Na^+ e Cl^- dentre os cátions e ânions investigados, demonstrado pelo diagrama de Piper, que também revelou predominância de águas cloretadas sódicas, seguidas por cloretadas mistas (cálcicas e magnesianas), sendo o mecanismo natural de maior influência na composição química das amostras de água, segundo o diagrama de Gibbs, a interação água-rocha (intemperismo). O uso de um Índice de Qualidade da Água (IQA) classificou água como excelente a boa, sendo sustentável para uso no abastecimento humano.

Objetivando avaliar a qualidade da água para consumo humano e propósitos de irrigação, Sappa *et al.*, (2015), examinaram a variação sazonal da composição química das águas de um aquífero costeiro na cidade de Dar es Salaam, Tanzânia, para tal, os autores utilizaram 79 poços distribuídos em 3 áreas da cidade, a saber: Illala (18 poços), Temeke (25 poços) e Kinondoni (36 poços). A avaliação demonstrou que a hidroquímica é dominada por águas do tipo cloretadas sódicas e cloretadas cálcicas, os autores afirmam que esses aspectos são devidos aos processos de misturas e trocas iônicas associadas com a intrusão da água do mar. Os mecanismos de evaporação e a interação água-rocha foram sugeridos pelos resultados da modelagem geoquímica como controladores da composição química das águas da área de estudo. Os autores atribuíram a redução da quantidade e qualidade das águas subterrâneas da

área de estudo a contínua exploração do aquífero, sendo necessário o tratamento da água para garantir a saúde pública e agrícola.

Outra abordagem, para a compreensão da química das amostras de água é a investigação estatística entre os seus constituintes dissolvidos e parâmetros ambientais, essas associações estatísticas não necessariamente estabelecem a relação de causa e efeito, mas apresentam as informações de forma compacta, sendo o primeiro passo para a geração de hipóteses e interpretação dos processos hidroquímicos (DREVER, 1997; GÜLER, *et al.*, 2002).

A análise de agrupamento (*cluster analysis*) tem sido uma das técnicas estatísticas mais utilizadas para classificar amostras de água (GASTMANS, 2007). Essa técnica avalia a similaridade entre os indivíduos da matriz de dados, classificando-os em grupos hierárquicos, levando em consideração todas as variáveis determinadas para cada indivíduo (DAVIS, 1986).

Outro tipo de análise de dados por vezes utilizada é a Análise de Componentes Principais (ACP). Esta técnica reduz o número de dimensões presentes nos dados, onde as novas variáveis definidas pela ACP podem ser exibidas em um diagrama de dispersão, apresentando as amostras individuais como pontos em um espaço dimensional inferior (GÜLER *et al.*, 2002).

Andrade *et al.*, (2007), utilizando a ACP no estudo dos fatores determinantes da qualidade das águas superficiais na bacia do Alto Acaraú, no Cerará, observaram que a análise de componentes principais mostrou-se adequada para 16 variáveis da qualidade da água do estudo supracitado. Os autores encontraram três componentes principais, sendo as variáveis relacionadas com os componentes geológicos do solo de maior significância para CP 1, variáveis relacionadas ao uso e ocupação do solo obtiveram maior significância para CP 2. E para CP 3, as variáveis a cor e turbidez apresentaram maior significância.

Para identificar os fatores/fontes responsáveis pela variação da qualidade da água em três reservatórios (Kralkizi, Dicle e Batman) localizados na bacia do rio Tigre, Turquia, Varol *et al.*, (2012), utilizaram a ACP, a análise estatística revelou 5 Componentes Principais, responsáveis por cerca de 79,5% da variância total da matriz de dados. A primeira CP, responsável por 32,9% da variância total, obteve maior correlação com os parâmetros Temperatura, CE, Alcalinidade Total, Dureza Total e Ca^{2+} . A segunda CP obteve correlação

com Fósforo Total e SO_4^{2-} e foi responsável por 21,5% da variância total, as demais componentes não obtiveram correlação com nenhum parâmetro da qualidade da água. Os autores também submeteram a matriz de dados a análise de agrupamento hierárquico, buscando verificar as similaridades existentes entre locais e períodos de amostragem. Quanto aos locais de amostragem, a análise de agrupamentos revelou quatro grupos, onde cada um deles representou localização geográfica dos sítios amostrais. Com relação aos períodos a análise agrupou os 12 meses de duração do estudo em dois grupos. No primeiro grupo foram incluídos os meses referentes à estação chuvosa e no segundo grupo os meses da estação seca da região estudada, sugerindo que a coleta de amostras de forma sazonal é suficiente para a análise da variação temporal.

A análise estatística também foi utilizada por Kumar *et al.*, (2014), para detectar as relações e diferenças existentes entre os parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas em Chennai, capital do estado de Tamil Nadu, na Índia. A matriz de dados foi submetida a análise de agrupamento hierárquico, que gerou três grupos estatisticamente significantes, ficando a maioria das amostras nos grupos I e II, onde houve boa correlação entre o conteúdo iônico com a Condutividade Elétrica (CE) e Sólidos Totais Dissolvidos (STD), e as demais amostras no grupo III, onde a CE e TDS foram mais significantes.

3.3. QUALIDADE DA ÁGUA PARA PROPÓSITOS DE IRRIGAÇÃO

De acordo com Lacerda *et al.*, (2014) regiões áridas e semiáridas buscam na cultura irrigada a solução para o déficit hídrico. A adequabilidade da água para irrigação é uma contingência dos efeitos dos constituintes minerais da água, tanto sobre a planta como sobre o solo, alguns cátions e ânions, quando em excesso, podem trazer prejuízos ao solo e às plantas, dependendo do grau de tolerância destas aos sais (AYRES; WESTCOT, 1991; SILVA *et al.*, 2011).

O método de classificação das águas para propósitos de irrigação proposto pelo *United States Salinity Laboratory* (USSL) de Riverside é um dos mais aceitos para este fim, tal método baseia-se na razão de adsorção de sódio (RAS) e na concentração total de sais expressa pela condutividade elétrica da água. As classes de água para irrigação variam de $C_0 - S_1$ a $C_5 - S_4$, onde C expressa a concentração total de sais e S a sodicidade. (ALMEIDA, M *et al.*, 2007).

É provável que o critério mais importante com respeito à qualidade da água para a irrigação seja a concentração total de sais, medido pela Condutividade Elétrica (C.E.). Tomando como base este critério de C.E., as águas se dividem em classes, como mostrado na Tabela 1, sendo os pontos divisórios entre as classes 100, 250, 750 e 2250 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (RICHARDS, 1954).

Tabela 1 – Classificação das águas de irrigação quanto ao risco de salinidade

Classe de Salinidade	Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Risco de Salinidade
C ₀	< 100	Nulo – Pode ser usada sem qualquer tipo de restrição na agricultura.
C ₁	100 – 250	Baixo – Pode ser usada para irrigação da maioria das culturas, em quase todos os tipos de solos.
C ₂	250 – 750	Médio – Pode ser usada sempre e quando houver lixiviação moderada de sais
C ₃	750 – 2250	Alto – Não pode ser usada em solos com drenagem deficiente.
C ₄	2250 - 5000	Muito Alto – Não é apropriada para irrigação sob condições normais.
C ₅	>5000	Extremo – Somente utilizada em solos excessivamente permeáveis.

Fonte: (Modificado de Richards, 1954).

A relação de adsorção de sódio (RAS) expressa a atividade relativa dos íons sódio em reações de intercâmbio catiônico com o solo, indicando o risco de sodicidade (CORDEIRO, 2001). Com base nesse risco Richards (1954) estabeleceu limites de valores para a RAS, criando dessa forma as classes para as águas segundo este parâmetro, como demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2 – Classificação das águas de irrigação quanto ao risco de sodicidade

Classe de Sodicidade	Razão de Adsorção de Sódio - RAS	Risco de Sodicidade
S ₁	$\text{RAS} < 18,87 - 4,44 \log \text{CE}$	Água de baixa sodicidade ou com baixa concentração de sódio.
S ₂	$18,87 - 4,44 \log \text{CE} < \text{RAS} < 31,31 - 6,66 \log \text{CE}$	Água de sodicidade média ou com concentração média de sódio.
S ₃	$31,31 - 6,66 \log \text{CE} < \text{RAS} < 43,75 - 8,87 \log \text{CE}$	Água de alta sodicidade ou com alta concentração de sódio.
S ₄	$\text{RAS} > 43,75 - 8,87 \log \text{CE}$	Água de muita alta sodicidade ou muito alta concentração de sódio.

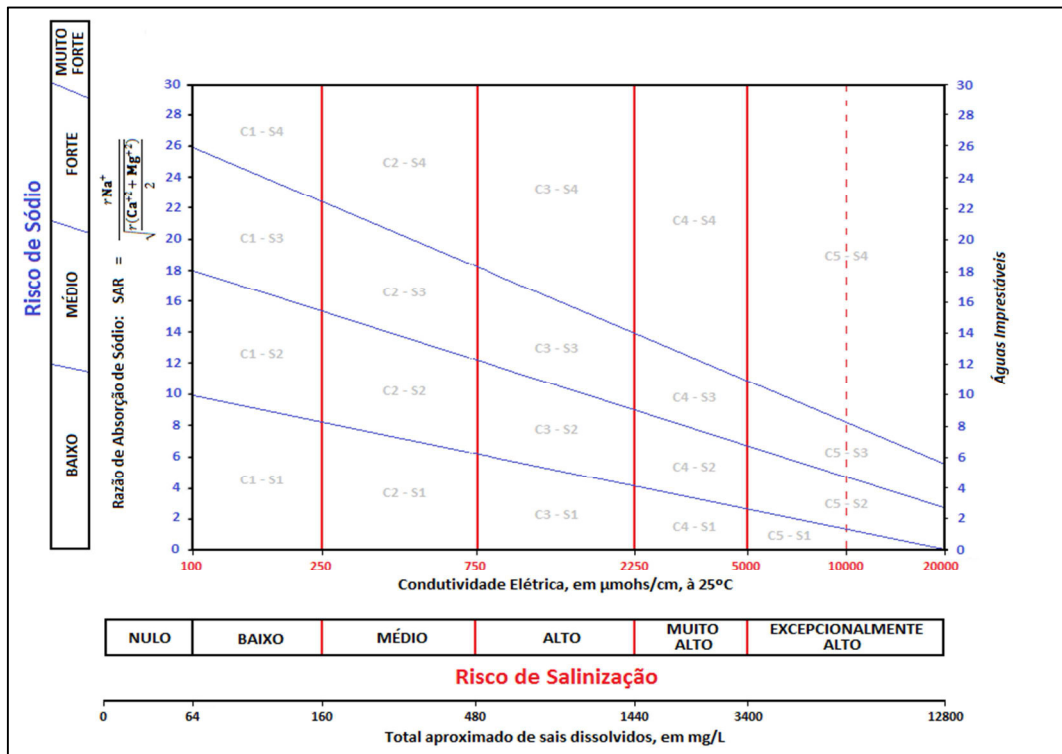
Fonte: (Modificado de Richards, 1954)

A classificação das águas para propósitos de irrigação proposta pelo USSL correlaciona os critérios de qualidade da água no qual se baseia (RAS e CE) em um plano cartesiano, onde o eixo das abscissas é representado pela condutividade elétrica e o eixo das ordenadas pela razão de adsorção de sódio, também conhecido como Diagrama de Wilcox (Figura 4), onde a localização do ponto neste plano cartesiano indica a sua classificação (C_iS_j).

Almeida, M. *et al.*, (2007), realizaram estudo em 6 reservatórios, a saber: Acarú Mirim, Araras, Ayres de Souza, Edson Queiroz, Forquilha e Sobral, pertencentes à bacia do rio Acarú, no estado do Ceará, objetivando classificar as águas quanto ao uso na irrigação, para tal os autores utilizaram a razão de adsorção de sódio (RAS) e a condutividade elétrica, método proposto pelo USSL, e também levaram em consideração a sazonalidade. Neste trabalho foi constatado que a maioria dos reservatórios estudados apresentou baixo risco de salinidade, sendo classificados em $C_1 - S_1$, e que a sazonalidade não foi significativa para a variação da classificação das águas quanto ao uso na irrigação, onde o aporte de água decorrente das chuvas não produziu mudanças significativas na composição química dos sais que alterassem as classes para irrigação.

Com o objetivo de avaliar as características das águas utilizadas para irrigação no Perímetro Irrigado Cachoeira II, no município de Serra Talhada, no semiárido de Pernambuco, Fernandes *et al.*, (2009), realizaram levantamento da variação da qualidade da água das principais fontes de abastecimento desse perímetro, a saber: riacho Cachoeira, rio Pajeú e nos principais poços e reservatórios da região. Os autores adotaram a metodologia proposta pelo USSL para classificar as águas da região estudada segundo propósitos de irrigação. No trabalho constatou-se que a água utilizada para irrigação no Perímetro Irrigado Cachoeira II apresenta risco de salinização e sodificação em época do ano específica, havendo predominância de águas cloretadas sódicas, independente do nível de salinidade, sendo que as águas dos poços apresentaram os maiores valores de CE indicando maior risco do seu uso para a irrigação.

Figura 4 – Diagrama de Wilcox para classificação das águas para irrigação



Fonte: (MÖBÜS, 2014)

Objetivando traçar um perfil da qualidade da água de nascentes para propósitos de irrigação, Bhandari e Joshi (2013), avaliaram cinquenta e quatro nascentes localizadas em Almora, distrito de Uttarakhand, Índia, nas estações pré-monção, monção e pós-monção do ano de 2008. Os autores especificaram os pontos de coleta de forma que fosse abrangida tanto a área rural quanto a área urbana. Utilizando a classificação da água para propósitos de irrigação e o diagrama de Wilcox, que correlaciona a CE e a porcentagem de sódio, cerca de 98% dos recursos hídricos analisados foram classificados como $C_1 - S_1$ e $C_1 - S_2$ durante o período estudado, sendo que todas as amostras se encontraram agrupadas nas categorias de qualidade de excelente a boa demonstrando que as águas das nascentes na região de Almora possuem baixa concentração iônica e efeito negativo irrelevante dos sais, sendo assim adequadas ao uso para a irrigação.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. ÁREA DE ESTUDO

4.1.1. Agreste Central Sergipano

O território Agreste Central localiza-se no centro-noroeste do estado de Sergipe, sendo formado por quatorze municípios, a saber: Areia Branca, Campo do Brito, Carira, Frei Paulo, Itabaiana, Macambira, Malhador, Moita Bonita, N. Sra. Aparecida, Pedra Mole, Pinhão, Ribeirópolis, São Domingos e São Miguel do Aleixo. Este território está situado sobre dois tipos de formações geomorfológicas. A Faixa de Dobramentos Sergipana (Domo de Itabaiana), cuja característica é a presença de serras residuais de aproximadamente 600 metros de altitude; e o Pediplano Sertanejo, formado por terrenos erodidos e altitude de 200 metros (SERGIPE, 2014).

O território é delimitado ao norte pela bacia hidrográfica do rio Sergipe e ao sul pela bacia do rio Vaza Barris, tem como destaque a presença de açudes, bastante utilizados para a irrigação e dessedentação animal. Por localizar-se na zona de transição entre o litoral e o sertão, o clima apresenta características destes dois territórios. A transição ocorre de leste para oeste, havendo um decréscimo no volume de precipitação e quantidade de meses chuvosos, saindo assim do clima sub-úmido para o clima semiárido brando (SERGIPE, 2014).

Na área do Domo de Itabaiana os solos são formados a partir da decomposição do gnaisse, sendo muito utilizado para o cultivo de hortaliças, já na parte oeste do território o solo é derivado do quartzo, cujo uso é destinado à pastagem e aos cultivos anuais, destacando-se o de grãos. Diversos ecossistemas estão presentes nesse território tais como: Mata Atlântica, Cerrado, Campos de Altitude e até resquícios de vegetação típica de Restinga (SERGIPE, 2014).

4.1.2. Reservatório Poção da Ribeira

A área estudada encontra-se na região nordeste do Brasil, entre os municípios de Itabaiana e Campo do Brito, agreste central do estado de Sergipe e é composto por uma barragem de terra, de seção homogênea, assente diretamente sobre rocha sã fraturada, de comprimento 550 m no eixo do coroamento, de 150 m no vertedouro e altura 26 m. Pertence à COHIDRO - Companhia de Recursos Hídricos e Irrigação de Sergipe; teve início à construção em 1985, dentro do programa denominado Chapéu de Couro (FERNANDES, 1991). As características batimétricas do reservatório estão dispostas na Tabela 3.

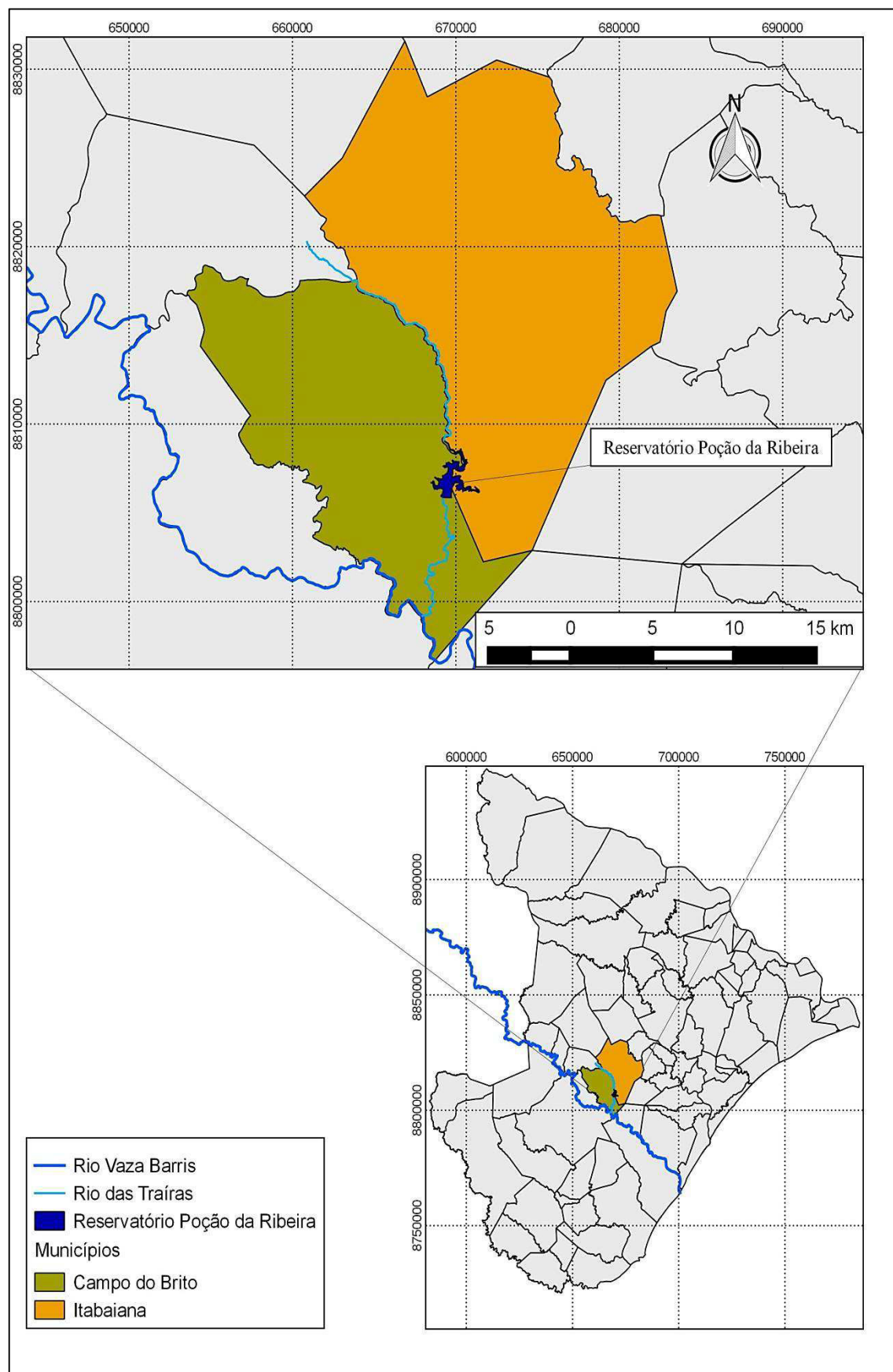
Tabela 3 – Características batimétricas do Reservatório Poção da Ribeira

RIO BARRADO	Rio Traíras
MATERIAL DA BARRAGEM	Terra compactada
COTA DE COROAMENTO	223,5 m
EXTENSÃO DO COROAMENTO	550 m
LARGURA DO COROAMENTO	5,0 m
ALTURA MÁXIMA	26,0 m
CAPACIDADE DE ACUMULAÇÃO	16.500.000 m ³
VOLUME MORTO	1.000.000m ³
ÁREA DA BACIA HIDROGRÁFICA	215 Km ²
ÁREA DA BACIA HIDRÁULICA	250 ha
VOLUME REGULARIZADO	900 L/s
ÁREA INUNDADA	181,0964 ha

Fonte: (Modificado de COHIDRO, 2011)

O barramento do rio Traíras originou o reservatório Poção da Ribeira (Figura 5), sua construção foi iniciada em 1985 e concluída em 1987, tendo como principal objetivo o fornecimento de água ao perímetro irrigado Poção da Ribeira coordenado pela COHIDRO que é a entidade estadual encarregada de fornecer assistência técnica aos produtores que estão nos perímetros irrigados estaduais. Cabe anotar que o perímetro está localizado na bacia do rio Sergipe, município de Itabaiana, mas a barragem propriamente dita pertence à bacia hidrográfica do rio Vaza Barris. Em 1998 foi instalada uma estação de captação de água pela Companhia de Saneamento de Sergipe – DESO, para fins de abastecimento humano (PERH, 2010).

Figura 5 – Localização do Reservatório Poção da Ribeira



O abastecimento humano, sob responsabilidade da Companhia de Saneamento de Sergipe – DESO e a irrigação, de responsabilidade da COHIDRO, são os principais usos consultivos das águas do reservatório Poção da Ribeira. Segundo DESO (2011), a água captada na barragem, após tratamento, é distribuída para quatro municípios da região agreste do estado de Sergipe: Itabaiana, Campo do Brito, Macambira e São Domingos, beneficiando aproximadamente quarenta e sete mil pessoas, tendo como volume total captado, para o ano de 2011, o valor de 135.520 m³.

Já no perímetro irrigado, cerca de 506,41 ha, dos 1100 ha irrigáveis, utilizam a água do reservatório totalizando 408 lotes irrigados para o ano 2011. Neste mesmo ano o volume total captado para este propósito foi de 3.765.070 m³.

Mendonça (2013) considera como propósitos não consultivos, de maior potencial impactante, a recreação de contato primário e secundário praticadas às margens do reservatório, que ocorre devido à presença de bares e casas de veraneio existentes no local assim como a piscicultura, que é desenvolvida pela Associação de Criadores de Peixe da Barragem de Campo do Brito (Aspebrito).

A montante do reservatório, circundando a bacia hidráulica, se encontram propriedades onde há a prática de diversas atividades agropecuárias. Localizada a menos de 200 m do eixo do barramento, a jusante e na margem esquerda do riacho Traíras, existia uma pedreira inativa. Os proprietários dessa pedreira decidiram pela sua reativação, quando ainda se desenvolviam os trabalhos de construção da barragem (FERNANDES 1991).

4.1.3. Perímetro Irrigado Poção da Ribeira

O Perímetro Irrigado Poção da Ribeira é um projeto do tipo irrigação pública estadual, sem intervenção fundiária por parte do governo, o seu projeto executivo foi concluído no ano de 1985, iniciando, na sequência, a implantação da obra, que teve sua inauguração no ano de 1987. (COHIDRO, 2011).

O perímetro localiza-se no Território Agreste Central Sergipano, distando 50 km de Aracaju (capital do estado) e 13 km da sede do municipal (Itabaiana). O empreendimento possui área total de 1.970 ha, sendo que 1100 ha destes são de área irrigável, prevalecendo o método de irrigação por aspersão convencional, mas também estão presentes os métodos de irrigação localizada e de microaspersão (COHIDRO, 2011).

A agricultura familiar tem maior expressão na área perímetro, sendo os lotes, em sua maioria, com área inferior a cinco hectares. Dentre as culturas exploradas estão: alface, amendoim, batata doce, cebolinha, coentro, couve, feijão, vagem, hortelã, maxixe, milho verde, pepino, pimentão, quiabo, salsa e tomate (COHIDRO, 2011).

4.2. AMOSTRAGEM

Baseando-se na distribuição das chuvas para o Centro Oeste do estado de Sergipe optou-se por realizar as amostragens de forma sazonal, período seco e período chuvoso. O monitoramento da qualidade da água do reservatório Poção da Ribeira foi realizado em duas fases, sendo a primeira delas realizada em um único ponto (P0), durante os períodos chuvoso e seco dos anos de 2013 e 2014. Para a segunda fase do monitoramento foram escolhidos três períodos amostrais, o primeiro entre as estações seca do ano de 2014 e chuvosa de 2015, denominado período intermediário (INT.15) e os outros períodos amostrais nos ápices das estações chuvosa (CH.15) e seca (SE.15) do ano de 2015. Nesta fase do projeto, buscou-se verificar a existência de compartimentalização horizontal e vertical das águas do reservatório, ou seja, a análise da variação espacial dos parâmetros da qualidade, para isto foram escolhidos três pontos distribuídos da seguinte forma:

P1 – Zona fluvial ou lótica, sob forte influência do principal tributário;

P2 – Zona intermediária, ainda com influência da cunha fluvial, mas com traços de ambiente lacustre;

P3 – Zona Lacustre ou lântica, com ausência ou pouca influência da cunha fluvial, podendo ocorrer estratificação térmica na coluna d'água.

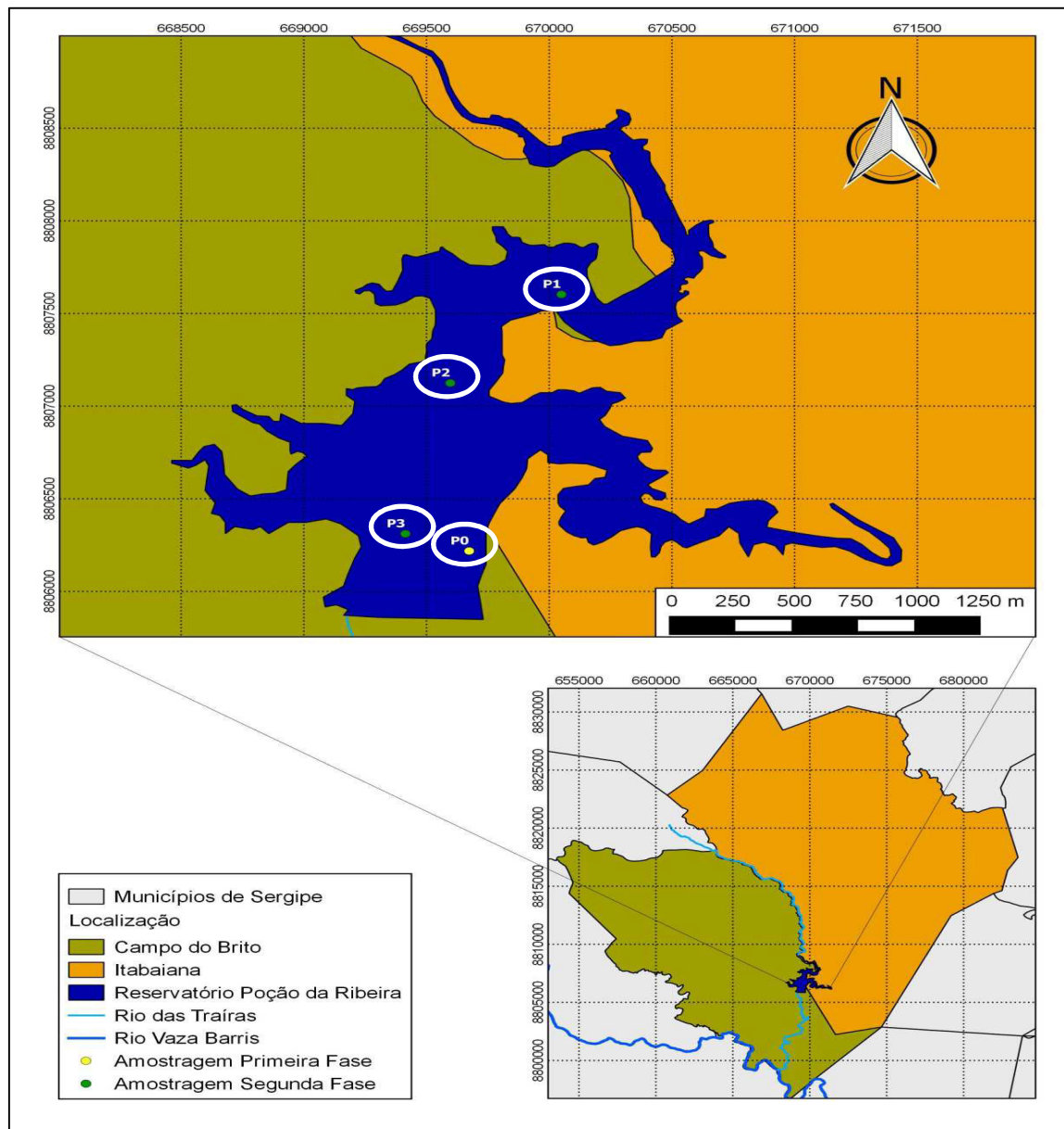
As coletas foram realizadas nos meses de junho (período chuvoso) e novembro (período seco) dos anos 2013 e 2014, no ponto P0, localizado nas seguintes coordenadas UTM: 669.720 (E) 8.806.218 (N). Para o ano de 2015 as coletas foram realizadas nos meses de maio (período intermediário entre as estações seca do ano de 2014 e chuvosa do ano de 2015 – INT 15), agosto (período chuvoso – CH 15) e novembro (caracterizado como período seco – SE 15), em três pontos, localizados nas seguintes coordenadas UTM: P1 670.050 (E) 8.807.603 (N), P2 669.597 (E) 8.807.125(N) e P3 669.368 (E) 8.806.311 (N), como ilustrado na Figura 6.

As amostras de água superficial foram coletas, acondicionadas e transportadas ao laboratório de acordo com Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostra (CETESB, 2011) e o *Standard Methods for Examination of the Water and Wastewater* (APHA, 2012). Em loco foram realizadas as medidas de temperatura da água e profundidade. Para as amostras de água encaminhadas ao laboratório foram analisados 21 parâmetros: turbidez, pH, alcalinidade, dureza, oxigênio dissolvido, carbono orgânico dissolvido, coliformes

termotolerantes, fósforo total, fosfato (PO_4^{3-}), nitrogênio amoniacal (NH_3), nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-), condutividade elétrica (CE), sólidos totais dissolvidos (STD), sódio (Na^+), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), bicarbonatos (HCO_3^-), sulfatos (SO_4^{2-}) e cloretos (Cl^-).

Para a avaliação da estratificação da coluna d'água, realizada apenas no ponto de maior profundidade (P3), foi utilizada sonda multiparamétrica YSI EXO1, onde foram medidos os parâmetros temperatura da água, pH e condutividade elétrica, realizando as medições a cada 2 m de profundidade. Devido a problemas em um dos eletrodos, não foi possível verificar a variação do oxigênio dissolvido na coluna d'água.

Figura 6 – Localização dos sítios de amostragem



As análises foram realizadas pelo Laboratório de Química de Água do Instituto Tecnológico e de Pesquisas de Sergipe – ITPS, seguindo as metodologias analíticas propostas por APHA (2012) e *United States Environmental Protection Agency* (US EPA, 2014), discriminados na Tabela 4.

Tabela 4 – Metodologia Analítica utilizada

Parâmetros	Técnica analítica	Método de referência
pH	Método potenciométrico	SM 4500 H ⁺ B
Condutividade elétrica	Método condutimétrico	SM 2510 B
Turbidez	Método nefelométrico	SM 2130 B
Oxigênio dissolvido	Método de laboratório	SM 4500 O
Alcalinidade total	Método titulométrico	SM 2320 B
Dureza total	Calculada pelo Ca e Mg	SM 2340 B
Sólidos totais dissolvidos	Determinado pela medida da condutividade	SM 2510 A
Temperatura da água	Medida em campo	-
Carbono orgânico total dissolvido	Método da combustão a alta temperatura	SM 5310 B
Coliformes termotolerantes	NMP Colilert 24	SM 9223 B
Nitrogênio - nitrato	Cromatografia iônica	US EPA 300.7
Nitrogênio - nitrito	Cromatografia iônica	US EPA 300.7
Nitrogênio amoniacal	Cromatografia iônica	US EPA 300.7
Fósforo total	ICP OES	-
Fósforo - fosfato	Cromatografia iônica	US EPA 300.7
Sódio	Cromatografia iônica	US EPA 300.7
Potássio	Cromatografia iônica	US EPA 300.7
Cálcio	Cromatografia iônica	US EPA 300.7
Magnésio	Cromatografia iônica	US EPA 300.7
Bicarbonato	Método titulométrico	SM 2320 B
Sulfato	Cromatografia iônica	US EPA 300.7
Cloreto	Cromatografia iônica	US EPA 300.7

4.3. TRATAMENTO DE DADOS

A matriz de dados obtida das amostras coletadas sazonalmente foi submetida à análise de agrupamento hierárquico pelo método Ward com distância Euclidiana, visando avaliar a similaridade existente entre os diferentes períodos de amostragem. E também à análise multivariada de componentes principais, objetivando a redução do número de variáveis, o que possibilita a identificação das medidas responsáveis pelas maiores variações sazonais entre os resultados, sem perda significativa de informações.

Para o uso das ferramentas estatísticas multivariadas foi utilizado o software PAST – *Paleontological STatistics*, versão 3.04 (HAMMER *et al*, 2001). Adotando um valor- α de 0,05 como nível crítico para todos os testes, resultando numa confiabilidade de 95%.

A avaliação do grau de salinização das águas foi realizada utilizando-se o método proposto pelo *United States Salinity Laboratory* – USSL (RICHARDS, 1954) para propósitos de irrigação e complementada pela técnica de balanço iônico e dos diagramas de Wilcox e de Piper, objetivando a identificação dos íons dominantes.

Para a avaliação da qualidade para propósitos de irrigação e classificação quanto ao conteúdo iônico das águas foi utilizado o software QualiGraf (MÖBÜS, 2014). Programa desenvolvido pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, voltado para a interpretação gráfica de dados hidroquímicos.

A análise da variação temporal dos parâmetros da qualidade da água do reservatório Poção da Ribeira foi realizada com os resultados da primeira fase do projeto (2013 e 2014) e com as médias aritméticas dos resultados da segunda fase do monitoramento (2015). Já para a análise da variação espacial, compartimentalização horizontal e vertical, foram utilizados os resultados das campanhas de amostragem realizadas no ano de 2015.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para os três anos de monitoramento da qualidade da água do reservatório Poção da Ribeira, localizado no agreste central do estado de Sergipe, os resultados das análises dos parâmetros da qualidade da água para a primeira fase do projeto (um ponto de amostragem) e as médias dos valores obtidos nos três pontos de amostragem (segunda fase) estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Dados da Qualidade da água do reservatório Poção da Ribeira para a 1ª fase e médias da 2ª fase do monitoramento.

PARÂMETROS	PRIMEIRA FASE – SÍTIO P0				MÉDIAS SEGUNDA FASE SÍTIOS P1, P2 e P3		
	CH. 13	SE. 13	CH. 14	SE. 14	INT. 15	CH. 15	SE. 15
Temperatura da Água (° C)	22,0	25,5	29,0	29,0	29,4	25,9	29,1
Turbidez (uT)	14,4	3,7	6,6	6,3	12,4	7,5	5,3
pH	7,6	8,1	8,1	8,4	9,3	7,2	8,4
Alcalinidade (mg.L ⁻¹ CaCO ₃)	90,99	80,14	91,64	135,2	134,5	86,36	100,7
Dureza (mg.L ⁻¹ CaCO ₃)	75,71	103,1	141,2	66,75	104,0	69,23	93,19
OD (mg.L ⁻¹ O ₂)	4,40	6,06	5,99	8,41	8,31	19,69	8,05
COD total (mg.L-1)	13,35	15,71	13,87	13,72	14,98	18,27	15,37
Coliformes (NMP/100mL)	92	23	1100	350	12	430	2903
Fósforo total (mg.L ⁻¹)	0,46	0,06	0,51	0,14	0,03	28,27	0,02
Fósforo – PO ₄ ³⁻ (mg.L ⁻¹ P)	<0,016	0,04	<0,016	0,02	0,02	4,96	0,02
Nitrogênio – NO ₃ ⁻ (mg.L ⁻¹)	0,08	0,46	<0,011	0,09	0,09	9,73	<0,011
Nitrogênio – NO ₂ ⁻ (mg.L ⁻¹)	<0,015	0,12	<0,015	<0,015	<0,015	10,94	<0,015
Nitrogênio – NH ₃ (mg.L ⁻¹)	0,05	<0,030	0,10	<0,030	<0,030	3,93	<0,030
CE (μS.cm ⁻¹)	505,5	870,0	419,8	525,4	480,0	331,5	417,4
STD (mg.L ⁻¹)	348,8	487,2	235,1	294,2	268,8	185,6	233,7
Na ⁺ (mg.L ⁻¹)	47,51	102,8	31,81	110,0	56,38	28,27	39,27
K ⁺ (mg.L ⁻¹)	5,60	7,41	5,71	4,94	6,11	4,96	5,41
Ca ²⁺ (mg.L ⁻¹)	12,69	10,61	13,22	14,45	13,81	9,73	12,41
Mg ²⁺ (mg.L ⁻¹)	10,73	12,02	15,08	17,18	16,95	10,94	12,77
HCO ₃ (mg.L ⁻¹)	90,99	84,57	91,64	119,2	116,13	86,36	98,75
SO ₄ ²⁻ (mg.L ⁻¹)	8,25	10,95	15,18	17,64	4,70	5,33	5,70
Cl ⁻ (mg.L ⁻¹)	76,13	165,8	80,62	156,4	75,65	48,27	62,45

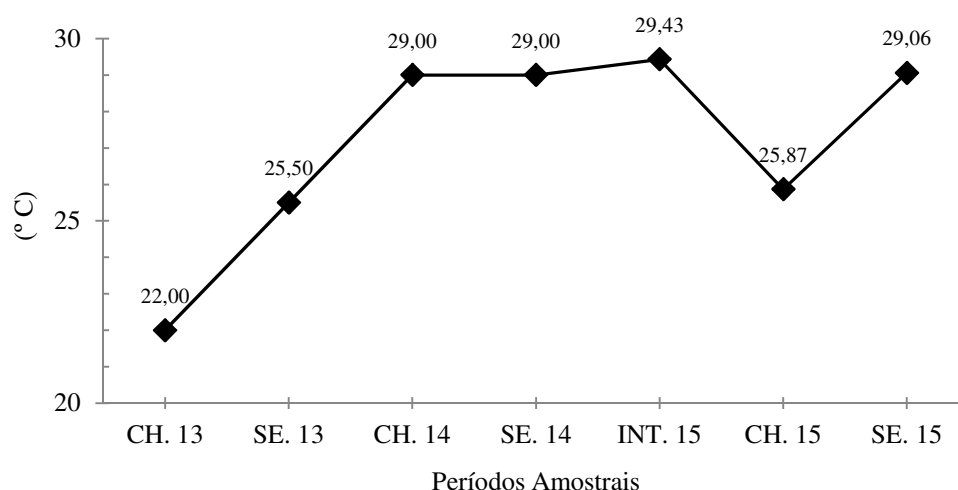
Os resultados pertencentes à segunda fase do projeto de monitoramento da qualidade da água do reservatório Poção da Ribeira são apresentados no APÊNDICE A, para os distintos pontos de amostragem adotados nas campanhas ocorridas em 2015.

5.1. TEMPERATURA E TURBIDEZ

Variações de temperatura são parte integrante do regime climático normal e corpos d'água naturais apresentam variações sazonais e diurnas, bem como uma possível estratificação vertical (CETESB, 2009). A temperatura afeta processos químicos, físicos e biológicos, interferindo na solubilidade de gases, velocidade de reações químicas e taxa metabólica dos organismos aquáticos (CHAPMAN, 1996).

Observa-se na Figura 7, onde está representada a variação sazonal da temperatura das águas do reservatório Poção da Ribeira, que para os anos de 2013 (onde foram registradas as menores temperaturas) e 2015, a ocorrência de comportamento semelhante, onde as temperaturas registradas nos períodos chuvosos (CH.13 e CH.15) foram menores que as registradas nos períodos secos (SE.13 e SE.15), comportamento que esta associado as coletas de amostras coincidirem com as estações inverno e verão, respectivamente.

Figura 7 – Variação da Sazonal da Temperatura da água do reservatório Poção da Ribeira



Quanto ao ano de 2014, o que pode ser observado é a inexistência de variação da temperatura com a sazonalidade, neste caso o horário da amostragem foi de grande relevância, pois houve discrepância entre os períodos do dia durante a realização das coletas em ambas as campanhas, prejudicando assim a análise da variação sazonal da temperatura para este ano.

Com relação à variação espacial, realizada apenas para o ano de 2015, verifica-se na Tabela 6, onde estão apresentadas as temperaturas registradas nos três pontos amostrais para todas as campanhas ocorridas neste ano, que os valores dos Coeficientes de Variação (CV %) para todas as campanhas foram inferiores a 1%, demonstrando assim a grande homogeneidade existente nos dados de temperatura registrados, o que implica em uma variação espacial pouco significativa da temperatura da água superficial do manancial estudado.

Tabela 6 – Variação espacial da temperatura da água do reservatório Poção da Ribeira em 2015

PONTOS DE COLETA	TEMPERATURA (° C)		
	INT. 15	CH. 15	SE. 15
P1	29,4	25,7	29,15
P2	29,4	25,8	29,09
P3	29,5	26,1	28,94
Média	29,43	25,87	29,06
Desvio Padrão	0,06	0,21	0,11
CV %	0,20	0,80	0,37

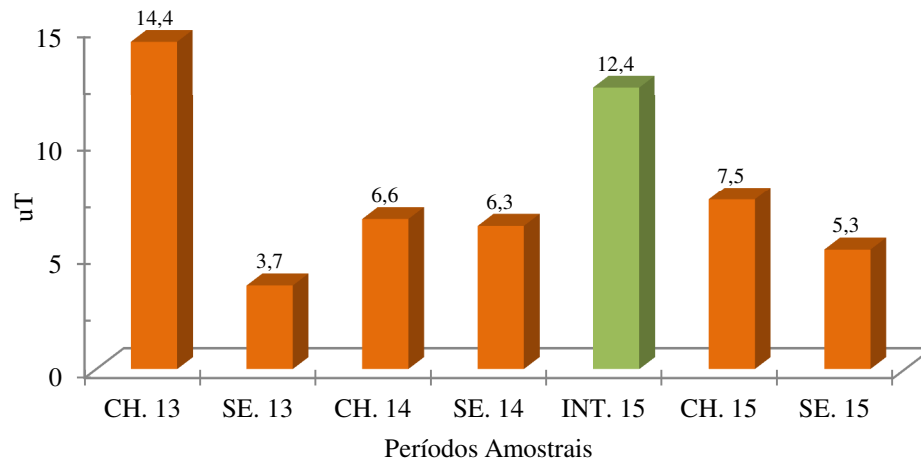
Rodrigues *et al.*, (2012), em estudo realizado no reservatório Dona Francisca, no estado do Rio Grande do Sul, verificou a existência de compartimentalização horizontal da temperatura superficial da água durante o verão e outono. Já para inverno e primavera, os autores observam a existência de pouca variação de temperatura entre os pontos de amostragem.

A homogeneidade das temperaturas registradas para os diferentes sítios amostrais evidencia que, em relação a este parâmetro, não há compartimentalização horizontal das águas do reservatório Poção da Ribeira, e que as variações sazonais e diurnas da temperatura da superfície da água são mais pronunciadas que a variação espacial e, portanto, mais significantes quanto a sua importância para os parâmetros limnológicos do meio aquático.

A turbidez da água é um dos fatores determinantes da profundidade de transmissão da luz, esta por sua vez, controla o valor da produtividade primária que é possível por meio do controle da taxa de fotossíntese de algas presentes no corpo d'água (CHAPMAN, 1996). Essa característica das águas ocorre devido à presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas, detritos orgânicos, algas e bactérias.

Verificou-se para as águas do reservatório Poção da Ribeira a existência de variação da turbidez com os períodos sazonais de amostragem, estando apresentada na Figura 8 a variação temporal desse parâmetro.

Figura 8 – Variação sazonal da turbidez da água do Reservatório Poção Ribeira



Nos anos de 2013 e 2015, observa-se que os valores de turbidez nos períodos chuvosos (CH.13 e CH.15) foram superiores aos valores encontrados nos períodos secos (SE.13 e SE.15), o que demonstra a influência da precipitação pluviométrica na qualidade da água, pois, de acordo com Barreto (1999), o revolvimento do sedimento e o aporte de material alóctone em períodos chuvosos são as causas mais prováveis do aumento da turbidez dos corpos hídricos.

Foi observado por Lima e Garcia (2008), em estudo realizado no açude Cajueiro e na barragem João Ferreira, ambos localizados no município de Ribeirópolis, Sergipe, que a turbidez durante os períodos de chuva apresentou valores mais elevados que a turbidez durante os períodos de estiagem, os autores associaram a variação sazonal da turbidez a quantidade de chuvas na região, visto que o aporte de material particulado ao corpo hídrico em períodos de estiagem é menor.

Assim como para a variação sazonal da temperatura, verifica-se para o ano de 2014 que a variação da turbidez com a sazonalidade foi pouco significativa, fato que, provavelmente, está associado às baixas intensidades das precipitações pluviométricas ocorridas nesse ano, pois valores baixos foram encontrados, sendo também uma causa provável, a ação dos ventos, ocasionando a ressuspensão de sedimentos e detritos, elevando assim a turbidez.

Tucci e Mendes (2006), afirmaram que os ventos produzem turbulência e consequente mistura das diferentes camadas dos reservatórios. Eskinazi Sant'Anna *et al.*, (2007), estudando seis reservatórios situados na bacia hidrográfica do rio Piranhas-Assu, no semiárido

do Rio Grande do Norte, verificaram elevada turbidez das águas dos reservatórios em todo o período sazonal, associando esse comportamento a provável resuspensão de sedimentos e detritos provocada pela ação eólica.

Chama atenção o valor de turbidez ocorrido no período intermediário (INT.15), onde foi verificado um valor médio de turbidez de 12,4 uT, assemelhando-se ao período chuvoso de 2013, porém nesta campanha de amostragem foi registrada a menor profundidade do reservatório, para duas fases do monitoramento, sendo observado nas réguas limnimétricas aproximadamente 10 m de profundidade (APÊNDICE B), apresentando também elevada temperatura da água.

Ambientes aquáticos sofrem grande influência dos processos realizados pela biota existente nesses ecossistemas, onde a autodepuração natural dos corpos d'água, provocada pelo metabolismo dos microrganismos aquáticos, tende a ser acelerada em períodos mais quentes, levando a um incremento da turbidez nesses períodos devido ao aumento da atividade microbológica (CHAPMAN; KIMSTACH, 1992; MUCCI *et al.*, 2004).

Desta forma, supõe-se que uma das prováveis causas do alto valor encontrado para INT.15 seja devido ao aumento da atividade da biota aquática, provocado pela grande disponibilidade de radiação solar e, conseqüente, aumento da temperatura superficial da água, elevando assim a turbidez do ambiente aquático. Em contra partida, o baixo nível de água do reservatório, observado nas réguas de medição da profundidade, é um fator facilitador da turbulência e misturas das distintas camadas do reservatório provocadas pela ação eólica, ocasionando a resuspensão de materiais sedimentados, o que provoca o aumento da turbidez.

Na Tabela 7, onde são apresentados os valores de turbidez para as diferentes campanhas de coleta de amostra ocorridas no ano de 2015, pode-se verificar como ocorreu a variação espacial da turbidez em cada uma dessas campanhas.

Tabela 7 – Variação espacial da turbidez da água do Reservatório Poção da Ribeira

PONTOS DE COLETA	TURBIDEZ (uT)		
	INT. 15	CH. 15	SE. 15
P1	12,1	7,3	5,9
P2	12,8	7,2	4,9
P3	12,3	7,9	5,0
Média	12,40	7,47	5,27
Desvio Padrão	0,36	0,38	0,55
CV %	2,91	5,07	10,46

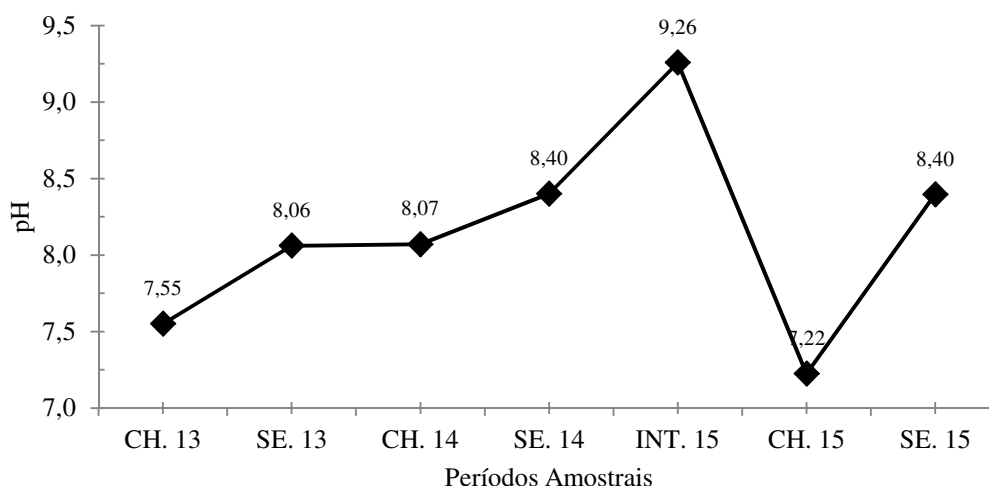
Tomando por base o CV% calculado para cada período de amostragem, observa-se que, apesar de apresentar a maior turbidez dentre as coletas realizadas em 2015, o período INT.15 apresentou maior homogeneidade dos valores de turbidez para os três sítios amostrais, apresentando CV de 2,9 %. Já no período seco, observa-se a existência de espacialização da turbidez, apresentando CV superior a 10%, sendo verificada uma diminuição desta no sentido da zona fluvial para a zona lacustre, demonstrando a influência do principal tributário, que possui maior velocidade longitudinal, desfavorecendo assim a sedimentação de material suspenso, conferindo maior turbidez às águas.

5.2. pH, ALCALINIDADE E DUREZA

Por sofrer influência de fatores bióticos e abióticos do ambiente aquático, o parâmetro químico pH é um dos mais difíceis de ser interpretado, porém este é um parâmetro que exerce influência significativa sobre as reações químicas e atividades biológicas ocorridas no meio aquático, sendo importante a sua determinação para os mais diversos usos da água, tendo como exemplos o tratamento para abastecimento humano e industrial, a utilização em sistemas irrigação, dentre outros.

Nas águas do reservatório Poção da Ribeira, o parâmetro pH apresentou o seu máximo e mínimo durante o ano de 2015, alcançando valores de 9,4 e 6,53 nos períodos INT.15 e CH.15, respectivamente. Na Figura 9 é apresentada a variação deste parâmetro com os períodos de amostrais.

Figura 9 – Variação sazonal do pH da água do reservatório Poção da Ribeira



Avaliando-se os anos de monitoramento separadamente, é possível notar que os valores de pH no períodos chuvosos (CH.13, CH.14 e CH.15), são inferiores aos valores apresentados para os demais períodos, demonstrando uma possível correlação entre esse parâmetro e a quantidade de chuvas ocorridas na região.

Talling (2010) afirmou que uma das principais causas do abaixamento do pH em águas naturais é a ação de ácidos fracos ionizados que têm sua origem nos solos da bacia de drenagem, como é o caso de ácidos orgânicos húmicos, e da interação da água com o CO₂, atmosférico ou resultante da respiração de organismos aquáticos, que em meio aquoso pode formar o ácido carbônico (TALLING, 2010).

Lima (2015), em estudo realizado em quatro reservatórios localizados na região centro sul do estado de Sergipe, verificou a existência de variação sazonal do pH, sendo observado que os valores apresentados durante os períodos de estiagem foram superiores aos apresentados durante o período de cheia. O autor associou o aumento do pH nos períodos secos à maior atividade de organismos aquáticos fotossintéticos, removendo o CO₂, uma das fontes naturais de acidez das águas, elevando assim o pH nas estações de maior insolação.

Para o reservatório Poção da Ribeira, levando-se em consideração as informações supracitadas, a influência da sazonalidade no pH está fortemente ligada aos efeitos climáticos, com favorecimento da fotossíntese em estações secas, elevando o pH da água superficial, e aporte de material suspensos e compostos ácidos (orgânicos e inorgânicos) ao corpo hídrico em estações chuvosas, causando um abaixamento do pH do meio.

O período amostral INT.15, apresentou valores de pH superiores os demais períodos, apresentando 9,3 como valor médio, assemelhando-se aos períodos de estiagem. Como já discutido, neste período foi verificado a menor profundidade do reservatório, altas temperaturas e turbidez elevada. O elevado valor de pH corrobora com a hipótese de que a grande densidade de organismos autótrofos (fotossintetizantes), seja a possível causa da elevação da turbidez nesse período, onde as altas taxas de fotossíntese, favorecida pela disponibilidade de luz nesse período, removem o gás carbônico da água, elevando o pH das camadas mais superficiais do reservatório, já que a elevada turbidez impede a penetração da radiação para as camadas mais profundas.

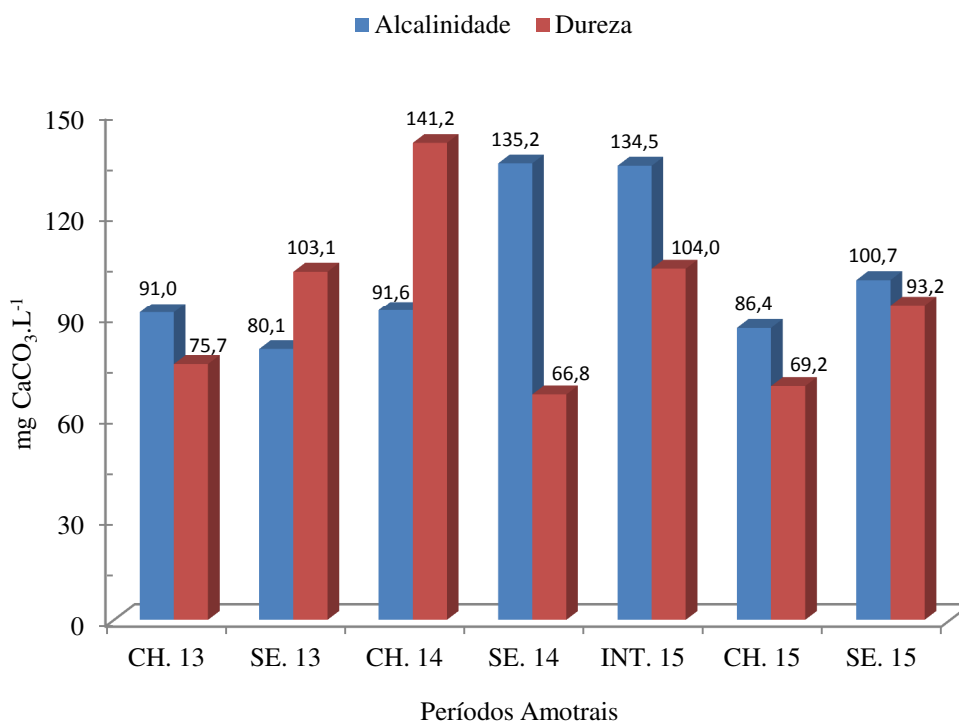
A alcalinidade pode ser entendida como a capacidade da água neutralizar ácidos fortes até um determinado valor de pH, seus principais componentes são os sais de ácido carbônico

(bicarbonatos e carbonatos) e os hidróxidos. Ocasionalmente, sais de ácidos fracos inorgânicos (boratos, silicatos e fosfatos) e orgânicos (ácido húmico, ácido acético, etc.) também conferem alcalinidade às águas, porém são pouco representativos (BARRETO; GARCIA, 2010; CETESB, 2013).

A dureza da água é causada pela presença cátions metálicos, principalmente cálcio e magnésio, associados aos ânions carbonato, bicarbonato e sulfato, que em condições de supersaturação formam precipitados. A principal fonte dureza em águas é o escoamento superficial, onde ocorre a dissolução de minerais calcários pelo gás carbônico da água, e os despejos industriais (RUAS, 2006; CETESB, 2013).

Alcalinidade e dureza são parâmetros que possuem certa semelhança, tendo mesma unidade de medida, o miligrama de Carbonato de Cálcio por litro de água ($\text{mg CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$), além de ambas estarem associadas aos ânions bicarbonato (HCO_3^-) e carbonato (CO_3^{2-}). Desta forma, as variações sazonais desses parâmetros, ocorridas durante o monitoramento da qualidade da água do reservatório Poção da Ribeira, estão apresentadas juntas na Figura 10.

Figura 10 – Variação sazonal da alcalinidade e dureza na água do reservatório Poção da Ribeira



As águas do reservatório estudado apresentaram valores máximos e mínimos de alcalinidade de 80,14 e 140,10 $\text{mg CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$, respectivamente, onde os valores mais

elevados foram registrados nos períodos SE.14 e INT.15. Para dureza, os valores variaram entre 65,15 e 141,20 mg $\text{CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$, com os maiores valores ocorridos no período CH.14 e INT.15.

Barreto e Garcia (2010), em estudo da qualidade da água do açude Buri, em Frei Paulo, Sergipe, verificaram comportamento semelhante da variação sazonal da alcalinidade e dureza, onde valores mais elevados, de ambos os parâmetros, foram observados pelos autores para o período de estiagem. Em contra partida, Varol *et al.*, (2012), em uma avaliação da qualidade da água de três reservatórios localizados na Bacia do rio Tigre, Turquia, observaram a redução de alcalinidade e da dureza durante as estações secas, os autores associaram esse comportamento a estagnação das águas do reservatório durante o verão, o que ocasionou o acúmulo de íons maiores em regiões mais profundas do reservatório.

Não foi verificada uma tendência na variação dos parâmetros alcalinidade e dureza nas águas do manancial estudado, sendo observado que para os diferentes anos do monitoramento os valores mais elevados se alternam entre períodos seco e chuvoso, demonstrando, assim, baixa correlação desses parâmetros com a sazonalidade.

Macêdo (2002), propõe uma classificação das águas quanto a sua dureza, classificação esta que está apresentada Tabela 8:

Tabela 8 – Classificação das águas quanto a sua dureza

CLASSES	Teor de CaCO_3 em $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
Mole ou branda	50
Dureza Moderada	50 – 150
Dura	150 – 300
Muito Dura	Maiores que 300

Fonte: Adaptado de Macêdo, 2002.

Desta forma podemos verificar que as águas do reservatório Poção da Ribeira encontram-se dentro dos limites da classificação de Dureza Moderada, sendo estas águas também adequadas ao consumo humano, quando avaliado os parâmetros alcalinidade e dureza, pois encontram-se abaixo do limite de 500 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ CaCO_3 , estabelecido pela CETESB (2009), como valor máximo permitido para águas utilizadas no abastecimento humano.

As variações espaciais dos parâmetros pH, alcalinidade e dureza, estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Variações espaciais dos parâmetros pH, alcalinidade e dureza para as coletas realizadas em 2015

PONTOS DE COLETA	pH			Alc. (mgCaCO ₃ .L ⁻¹)			Dureza (mgCaCO ₃ .L ⁻¹)		
	INT. 15	CH. 15	SE. 15	INT. 15	CH. 15	SE. 15	INT. 15	CH. 15	SE. 15
P1	9,40	6,53	8,44	128,8	91,15	100,1	103,1	73,35	104,7
P2	9,33	7,59	8,40	140,1	85,16	104,7	105,3	69,19	94,26
P3	9,04	7,55	8,35	134,5	82,76	97,24	103,6	65,15	80,6
Média	9,26	7,22	8,40	134,47	86,36	100,68	104,00	69,23	93,19
Desvio Padrão	0,19	0,60	0,05	5,65	4,32	3,76	1,15	4,10	12,09
CV %	2,06	8,32	0,54	4,20	5,00	3,74	1,11	5,92	12,97

Verifica-se para o pH, que o período CH.15 foi o que apresentou maior variação em relação a distribuição espacial, com o valor de CV superior a 8%. Nota-se para este período que a região fluvial do reservatório apresentou o menor pH, tendo como causa provável o aporte de água resultante das precipitações pluviométricas, e como nesta região o tempo de residência é menor, a influência das águas alcalinas encontrados no período INT.15 foi menos significativa que para os demais pontos de amostragem. Quanto aos demais períodos amostrais (INT.15 e SE.15), apresentaram valores de CV inferiores a 2,5 %, o que nos leva a inferir que não houve variação espacial significativa do pH durante esses períodos.

Para alcalinidade, observa-se que os CV calculados para todas as campanhas ocorridas no ano de 2015, foram no máximo 5 % do valor da média aritmética, demonstrando que há homogeneidade nos dados, o que implica em variação espacial pouco relevante.

Observa-se para dureza que, em INT.15, a variação deste parâmetro com o local de amostragem foi muito inferior aos demais períodos amostrais (CV de 1,1%). Indicando homogeneidade das águas superficiais do reservatório neste período. Para os períodos seco e chuvoso de 2015 houve maior variação espacial, indicando a existência de compartimentalização horizontal dessas águas, em relação a esse parâmetro, sendo observada no período seco (CV de 12,97%), a ocorrência de diminuição da dureza no sentido da zona lacustre, onde o volume é maior, ocasionando assim a diluição das águas provenientes da zona fluvial do reservatório.

5.3. OXIGÊNIO DISSOLVIDO E CARBONO ORGÂNICO DISSOLVIDO

O oxigênio é essencial para todas as formas de vida aquática, incluindo os organismos responsáveis pelos processos de autodepuração em águas naturais, o seu teor nas águas varia com a temperatura, salinidade, a turbulência, a atividade fotossintética de algas e plantas, e à pressão atmosférica (CHAPAMAN, 1996).

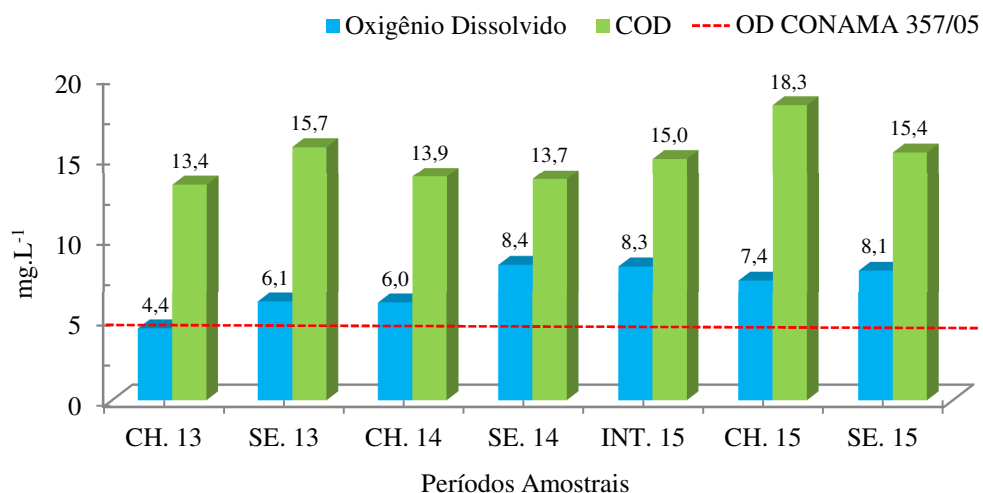
As principais fontes de oxigênio dissolvido (OD) nas águas naturais são: a dissolução do oxigênio atmosférico, onde a taxa de aeração em águas naturais através da superfície depende das características hidráulicas e da velocidade, e a atividade de algas e plantas aquáticas, por meio da fotossíntese (RUAS, 2006; CETESB, 2013).

A oxidação de íons metálicos e matéria orgânica são processos químicos que demandam oxigênio, estes, associados à respiração de organismos aquáticos, são mecanismos de consumo do oxigênio dissolvido em águas naturais. Outros fatores também interferem na concentração de OD em águas, a influência da temperatura é um deles, como descrito na Lei de Henry, onde temperaturas mais baixas favorecem a dissolução de gases na água. Outro fator de grande importância é a cor e a turbidez, que em valores elevados dificultam a penetração de luz desfavorecendo o processo de fotossíntese.

No ecossistema aquático a matéria orgânica é encontrada sob a forma de carbono orgânico dissolvido e carbono orgânico particulado, associados aos sedimentos e biota aquática (KNAPIK *et al.*, 2009). Para Chapman, (1996), a medida do carbono orgânico pode ser um indicador útil do grau de poluição, especialmente quando as concentrações podem ser comparadas a montante e a jusante de fontes potenciais de poluição.

Estão apresentadas na Figura 11 as variações sazonais dos parâmetros oxigênio dissolvido, que apresentou valores mínimos e máximos de 4,4 e 10,07 mg.L⁻¹, respectivamente, e carbono orgânico dissolvido, que variou de 13,35 a 18,81 mg.L⁻¹ durante o período de realização do monitoramento.

Figura 11 – Variação sazonal do OD e COD para o reservatório Poção da Ribeira em 2015 e Limite para OD estabelecido pela CONAMA 357/05.



Observa-se que para os três anos do monitoramento os valores de OD para os períodos secos (SE.13, SE.14 e SE.15) foram superiores aos valores encontrados nos períodos chuvosos. Este aumento da concentração, provavelmente, está associado a maior taxa fotossintética ocorrida nos períodos de estiagem, por apresentarem maior intensidade luminosa e menor turbidez, favorecendo, assim, o processo da fotossíntese.

Garcia *et al.*, (2012), em análise da qualidade da água do reservatório Jacarecica – I, localizado em Itabaiana, estado de Sergipe, observaram que os valores mais elevados de OD ocorreram na estação seca, e decréscimo desta concentração durante a época das chuvas na região. Os autores associaram as baixas concentrações de oxigênio ao aporte de material particulado e matéria orgânica ao corpo d'água durante a estação chuvosa, resultando no aumento da turbidez e, conseqüente redução da fotossíntese, e elevação da taxa de decomposição da matéria orgânica, reduzindo, assim, a concentração de OD.

Quanto ao parâmetro COD, verifica-se para o ano de 2015, que o aporte hídrico decorrente das precipitações pluviométricas teve grande representatividade para este parâmetro, sendo encontrado o valor mais elevado ($18,18 \text{ mg.L}^{-1}$) durante a estação chuvosa, e para os períodos INT.15 e SE.15 o parâmetro apresentou valores semelhantes, 14,98 e 15,37 mg.L^{-1} , respectivamente. Em 2014 não houve variação sazonal significativa, sendo observado valores semelhantes para ambos os períodos amostrais (CH.14 e SE.14). Já para 2013, verifica-se um comportamento inverso ao ocorrido para turbidez, onde o período com maior valor de turbidez (CH.13), apresentou o menor valor de COD ($13,35 \text{ mg.L}^{-1}$), o que demonstra pouca representatividade das precipitações pluviométricas para o COD neste ano.

Em trabalho realizado na bacia inferior do rio Paraíba do Sul, no estado do Rio de Janeiro, Almeida, G *et al.*, (2007), observaram que a variação sazonal do carbono orgânico apresentou uma padrão inverso ao apresentado pela variação da vazão do rio, sendo observado valores mais elevados desse parâmetro durante os períodos de baixa vazão. Os autores inferiram que os elevados valores observados, possivelmente, estavam relacionados à maior produtividade primária durante a estação de estio.

Com relação à variação espacial do OD e COD, apenas para as coletas realizadas no ano de 2015, os valores encontrados para os diferentes locais de amostragem, assim como os dados da análise estatística descritiva, encontram-se dispostos na Tabela 10.

Tabela 10 – Variação espacial dos parâmetros OD e COD para o reservatório Poção da Ribeira em 2015

PONTOS DE COLETA	OD (mg.L ⁻¹)			COD (mg.L ⁻¹)		
	INT. 15	CH. 15	SE. 15	INT. 15	CH. 15	SE. 15
P1	8,23	6,43	8,02	14,69	18,14	15,38
P2	10,07	7,47	8,19	15,08	17,86	15,38
P3	6,64	8,43	7,94	15,16	18,81	15,36
Média	8,31	7,44	8,05	14,98	18,27	15,37
Desvio Padrão	1,72	1,00	0,13	0,25	0,49	0,01
CV %	20,65	13,44	1,59	1,68	2,67	0,08

Observa-se que para o COD não houve variação espacial significativa, apresentando CV inferior a 3% em todos os períodos amostrais. Indicando que para este parâmetro, independente da sazonalidade, as águas do reservatório Poção da Ribeira possuem grande homogeneidade horizontal.

Para o OD, foi verificado que no período seco a compartimentalização horizontal das águas do manancial em estudo foi pouco significativa, sendo encontrada uma variação de 1,59% (CV) dos valores medidos para a média aritmética desses. Nos demais períodos amostrais foram encontrados valores de CV superiores a 13%, sendo observada, para a estação chuvosa, uma elevação da concentração de OD da zona mais rasa para a zona mais profunda do reservatório. Em contra partida, o período INT. 15 apresentou o menor valor para a concentração de OD (6,64 mg.L⁻¹), na zona lacustre do reservatório, indo de encontro com a hipótese de elevada concentração de organismos aquáticos fotossintetizantes serem a provável causa dos elevados valores de turbidez e pH encontrados nesse período amostral, pois um dos fatores responsáveis pelo aumento da atividade metabólica e consequentemente, aumento da taxa de consumo de oxigênio pela respiração de microrganismos aquáticos é a temperatura (MARGALEF, 1983).

As águas do reservatório Poção da Ribeira, com exceção do período CH. 13, apresentaram valores superiores ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05, que estabelece para águas doces classe 2 o valor mínimo de 5,0 mg.L⁻¹ de oxigênio dissolvido. Indicando que as águas superficiais do reservatório possuem uma boa qualidade para manter o equilíbrio ecológico.

5.4. COLIFORMES TERMOTOLERANTES

Garcia e Alves, (2006), salientam que a determinação dos coliformes assume importância como parâmetro indicador da possibilidade de existência de microrganismos patogênicos, responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica.

As bactérias do grupo coliforme totais habitam, normalmente, o trato intestinal dos animais de sangue quente, e por tanto, podem ser utilizadas como indicadoras de contaminação de águas por fezes. Porém, o grupo de bactérias denominadas coliformes termotolerantes engloba predominantemente o gênero *Escherichia* e, em menor monta, *Citrobacter*, *Klebsiella* e *Enterobacter* (LIBÂNIO, 2005; RUAS, 2006).

Devido a essa variedade, podem ser encontradas em ambientes de águas e solos poluídos ou não poluídos. Desta forma, além do lançamento de esgoto doméstico, a ação das chuvas também contribui para o aumento deste parâmetro nos corpos d'água.

Os valores de coliformes termotolerantes para as águas do reservatório Poção da Ribeira se mostraram muito variáveis, não apresentado padrão de variação sazonal ou espacial, como pode ser verificado na Tabela 11.

Tabela 11 – Valores de coliformes termotolerantes nas águas (NMP/100mL) do reservatório Poção da Ribeira

COLIFORMES TERMOTOLERANTES (NMP/100 mL)												
PRIMEIRA FASE				INT. 15			CH. 15			SE. 15		
CH. 13	SE. 13	CH. 14	SE. 14	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
92	23	1100	350	4,5	20	<1,8	170	790	330	7900	610	200

Os máximos foram observados para os períodos CH.14, CH.15 (P2) e SE.15 (P1), alcançando valores de 1100, 790 e 7900 NMP/100 mL, respectivamente, em contra partida, valores inferiores a 20 NMP/100mL foram registrados para o período INT.15, sendo observado nesse período, em P3, o menor valor registrado nas duas fases do monitoramento (<1,8 NMP/100 mL).

Ruas (2006), em estudo desenvolvido em três reservatórios de usinas hidrelétricas instaladas no rio Pomba, estado de Minas Gerais, verificou a grande variação existente na concentração de coliformes ao longo do período de monitoramento, observando também a não existência de relação entre a instalação de barramentos e os coliformes.

Embora não tenha sido possível identificar um padrão de variação para o parâmetro coliformes termotolerantes nas águas do reservatório Poção da Ribeira durante esse estudo, verifica-se para o período SE.15 uma diminuição na concentração desses no sentido da zona lacustre do reservatório, indicando a ocorrência de diluição dos coliformes, e demonstrando que neste período, a contribuição do rio das Traíras (principal afluente do reservatório) foi mais significativa que a contribuição das edificações situadas às margens do reservatório.

5.5. NUTRIENTES (P_{total} , PO_4^{3-} , NO_3^- , NO_2^- e NH_3)

Nutrientes ocorrem em ambientes aquáticos devido à interação com a bacia hidrográfica e a contribuição antrópica, com a poluição, por fontes difusas ou pontuais. São elementos essenciais aos organismos aquáticos (fito e zooplankton), fazendo parte da sua cadeia produtiva e, por tanto, são parâmetros de grande importância para a avaliação do estado trófico dos corpos hídricos (CHAPMAN, 1996; CETESB, 2013; CCME, 2016).

O fósforo existe em corpos d'água como ambas as espécies, dissolvida e particulada. Em geral, é o nutriente limitante para o crescimento de algas e, por isso, controla a produtividade primária em ambientes aquáticos (CHAPMAN, 1996). Este elemento pode se apresentar nas águas sob as formas de fosfatos orgânicos, compondo moléculas orgânicas como a de detergentes, ortofosfatos, que se combinam com cátions formando sais inorgânicos, e polímeros de ortofosfatos, que é pouco representativo, pois converte-se rapidamente a ortofosfatos (CETESB, 2013).

O nitrogênio (N) é constituinte importante de proteínas, incluindo material genético, ele sofre transformações biológicas e não biológicas no meio ambiente como parte do ciclo do nitrogênio, ocorrendo em ambientes aquáticos nas formas de N_2 , compostos orgânicos, amônia (NH_3 e NH_4^+), nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-), podendo ser utilizada a forma de ocorrência como um indicador de poluição, de modo que, a presença de amônia indica poluição recente por esgotos domésticos, já a forma nitrato, o último estágio de oxidação do N, indica poluição remota (CHAPMAN, 1996; MACÊDO, 2003; GARCIA *et al.*, 2012).

Cabe ressaltar que, devido à diferença entre a ordem de grandeza das concentrações de nutrientes encontradas durante a estação chuvosa do ano de 2015, optou-se por avaliar os resultados desses parâmetros, em CH. 15, separadamente.

Nas Figuras 12 e 13 estão representadas as variações sazonais dos parâmetros fósforo total (P_{total}) e fosfato ($P\text{-PO}_4$), respectivamente. O parâmetro P_{total} apresentou variação de 0,02 a 0,51 mg.L^{-1} , com picos de concentração durante os períodos chuvosos. Os valores mínimo e máximo apresentados pelo $P\text{-PO}_4$ foram 0,01 e 0,04, respectivamente, sendo registrados valores mais elevados durante as estações secas.

Figura 12 – Variação sazonal do fósforo total (P_{total}) nas águas do reservatório Poção da Ribeira

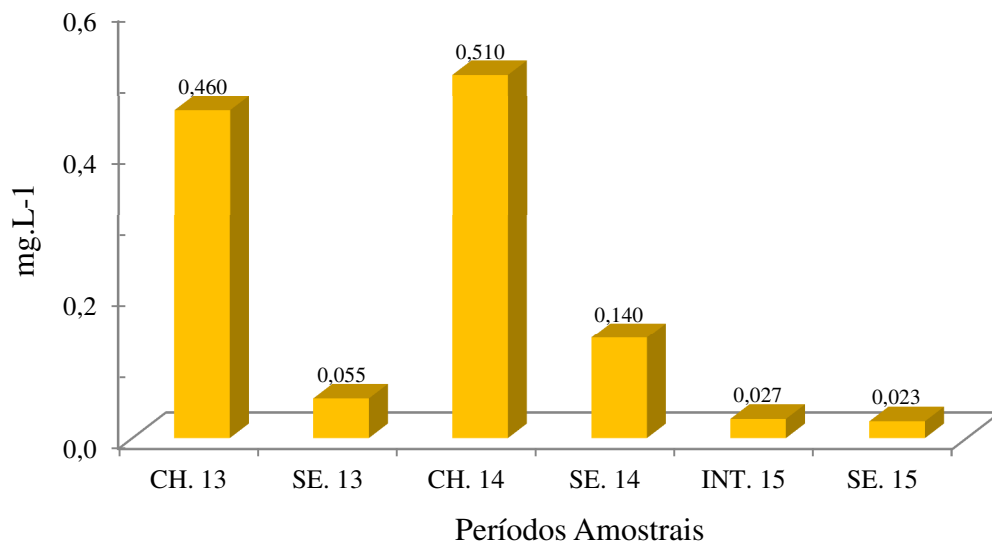
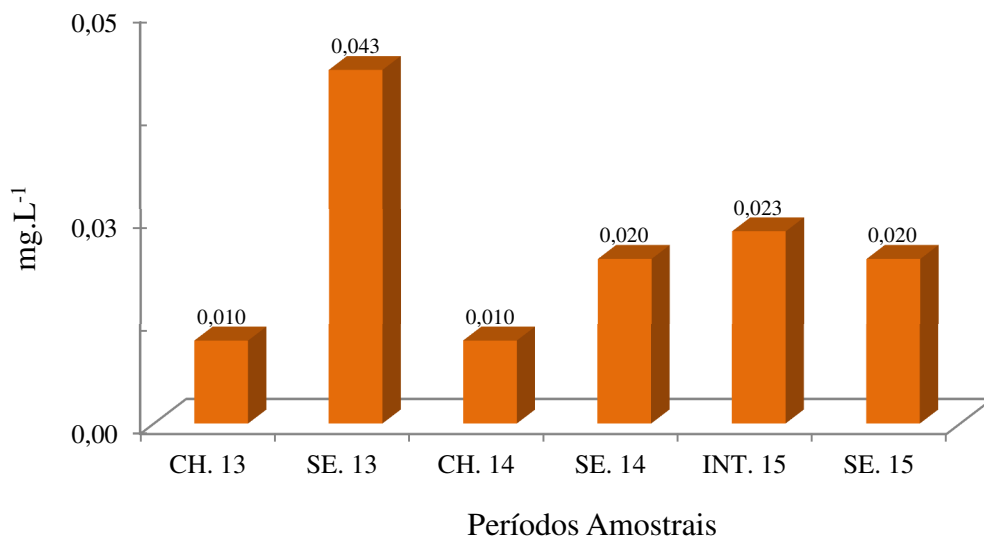


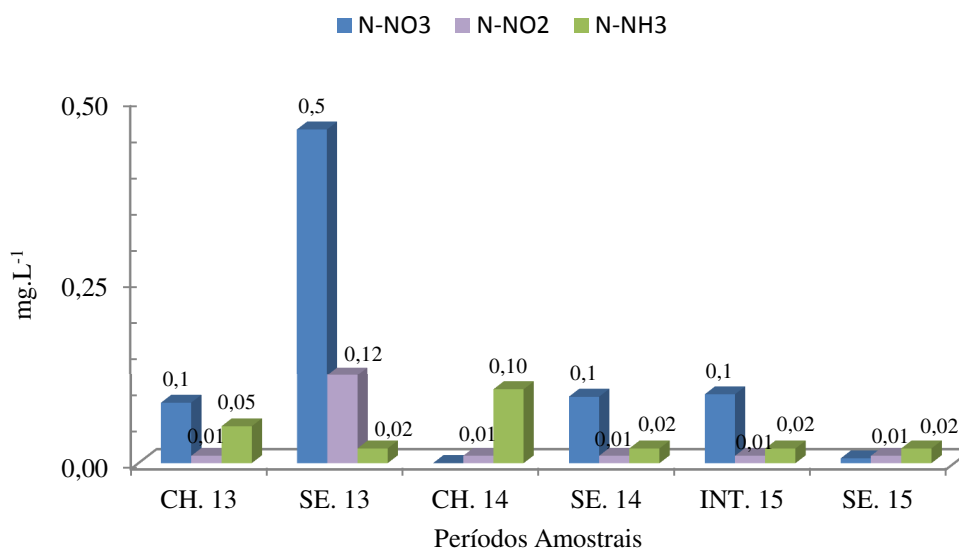
Figura 13 – Variação sazonal do fosfato ($P - \text{PO}_4$) nas águas do reservatório Poção da Ribeira



Com isso, podemos verificar que, provavelmente, o aporte hídrico ao reservatório em períodos chuvosos, devido ao escoamento superficial, é o principal provedor de fósforo às águas do sistema aquático estudado.

Na Figura 14 está ilustrada a variação do nitrogênio, nas formas analisadas neste trabalho, com a sazonalidade. Observa-se predominância do nitrato (N-NO_3) para a maior parte dos períodos amostrais, apresentando seu valor máximo ($0,5 \text{ mg.L}^{-1}$) em SE.13, para os demais parâmetros, verifica-se que as suas concentrações não ultrapassaram o valor de $0,15 \text{ mg.L}^{-1}$, mesmo nas estações de chuva.

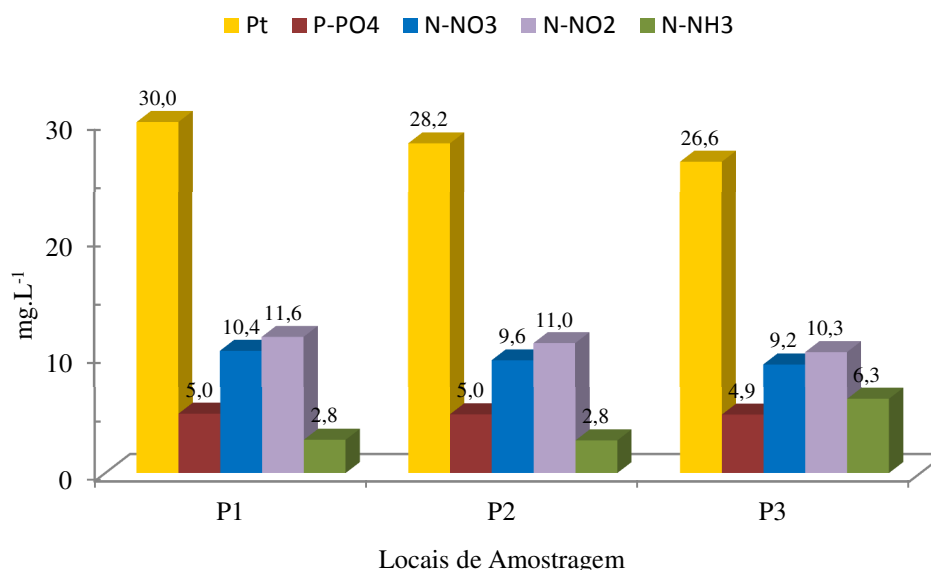
Figura 14 – Variação sazonal das formas de nitrogênio inorgânico dissolvido na água do reservatório Poção da Ribeira.



O CONAMA, em sua Resolução nº 357 de março de 2005, estabelece os limites para fósforo total ($0,03 \text{ mg/L}$), amônia ($1,0 \text{ mg.L}^{-1}$, para $8,0 < \text{pH} < 8,5$), nitrato (10 mg.L^{-1}) e nitrito ($1,0 \text{ mg.L}^{-1}$) para águas classe 2 em ambientes lênticos. Desta forma verifica-se que apenas P_{total} , durante as coletas realizadas no ano de 2013 e na estação chuvosa de 2014, apresentou valores superiores ao limite estabelecido pela resolução supracitada e, apesar da predominância da forma N-NO_3 , nas águas do reservatório Poção da Ribeira nenhum dos compostos nitrogenados apresentou valores superiores ao estabelecido pela CONAMA 357.

Para o período CH.15, onde as concentrações dos nutrientes analisados nesse trabalho obtiveram valores muito superiores aos encontrados nas demais campanhas de amostragem, as variações espaciais, das formas analisadas de fósforo e nitrogênio, estão ilustradas na Figura 15.

Figura 15 – Variação espacial dos nutrientes para as amostras de água coletadas em CH.15



Observa-se que todos os parâmetros apresentaram valores que excedem os limites estabelecidos na Resolução CONAMA 357/05, o que pode ser explicado pela contribuição da bacia de drenagem, cujo escoamento superficial contribui para o transporte dessas espécies das áreas rurais e agrícolas até os corpos hídricos.

A avaliação das contribuições difusas às águas superficiais da sub-bacia do rio Jaguari, em São Paulo, foi realizada por Mansor *et al.*, (2006), onde os autores verificaram que 55,1 e 69,4 % das cargas anuais de N_{total} e P_{total} , respectivamente, provêm de fonte difusa e desse total, 68,2% do N_{total} e 77,3% do P_{total} foram transportados pela sub-bacia em período chuvoso. Evidenciando a dependência existente entre as magnitudes das cargas de nutrientes com a do escoamento superficial.

Em estudo realizado na província de Hubei na China, Ma *et al.*, (2011), realizaram a análise das fontes difusas de nitrogênio (N) e fósforo (P) no reservatório Three Gorges. Os autores afirmam que a chuva foi a principal responsável pela distribuição sazonal das cargas difusas de poluição, pois o transporte de nutrientes para os corpos d'água superficiais se deu, principalmente, pela ação das águas pluviais e de irrigação, por meio do escoamento superficial e subsuperficial das áreas agrícolas.

Dentre os compostos nitrogenados, observa-se, para esse período amostral, elevados valores da forma nitrito ($N-NO_2$), onde suas concentrações estiveram entre 10,3 e 11,6 mg.L⁻¹, sendo assim um potencial risco a vida aquática, pois, segundo o *Canadian Water Quality for*

the Protection of Aquatic Life (CCME; 2012), o valor estabelecido para a proteção da vida aquática para o N-NO₂ é de 0,06 mg.L⁻¹.

O impacto das espécies de nitrogênio e fósforo nas águas do rio São Francisco Falso, afluente do reservatório de Itaipu, no estado do Paraná, foi avaliado por Silva *et al.*, (2010), os autores observaram um aumento expressivo nas concentrações dos parâmetros avaliados durante a estação das chuvas, sendo atribuído à contribuição do escoamento superficial na bacia de drenagem. Nesse mesmo estudo, foi verificado o aporte de nitrogênio na forma N-NO₂ ao reservatório durante períodos de cheia.

Quanto à compartimentalização horizontal das águas do reservatório em estudo, estão apresentados na Tabela 12 os valores das concentrações, média, desvio padrão e coeficiente de variação dos nutrientes, para a campanha de amostragem CH.15.

Avaliando-se os valores de CV %, verifica-se que a amônia apresentou variação espacial significativa, sendo observado um aumento da sua concentração na região de maior profundidade, zona lacustre do reservatório (representada por P3) , indicando a poluição recente por esgoto doméstico, como afirma Macêdo (2003), devido a falta de estrutura de coleta de esgoto nas edificações (casas e bares) existentes às margens do reservatório em ambos os municípios.

Tabela 12 – Variação espacial dos nutrientes nas águas do reservatório Poção da Ribeira para CH.15

PONTOS DE COLETA	Concentrações em mg.L ⁻¹				
	P _{total}	PO ₄	NO ₃	NO ₂	NH ₃
P1	29,980	5,000	10,380	11,550	2,800
P2	28,190	4,960	9,580	11,020	2,750
P3	26,630	4,920	9,230	10,260	6,250
Média	28,267	4,960	9,730	10,943	3,933
Desvio	1,676	0,040	0,589	0,648	2,006
CV %	5,930	0,806	6,058	5,925	51,011

5.6. CONDUTIVIDADE ELÉTRICA, SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS e ÍONS MAIORES

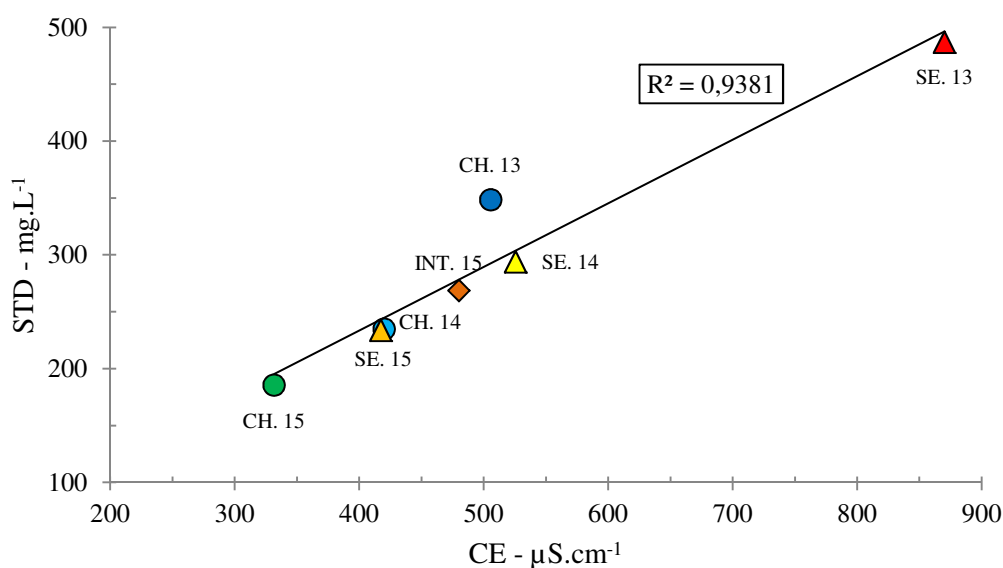
A condutividade elétrica (CE) é a expressão numérica da capacidade da água conduzir a corrente elétrica, é um parâmetro sensível as variações no teor de sólidos dissolvidos (STD), na maioria sais minerais, onde o grau de dissociação e quantidade de carga dos íons, assim

como, a mobilidade iônica e a temperatura da solução, influenciam nos valores de CE (CHAPMAN, 1996; CETESB, 2013).

A CE pode contribuir como indicador de impactos ambientais que ocorrem na bacia de drenagem, sendo que, para águas doces a condutividade varia de 10 a 1000 $\mu\text{S.cm}^{-1}$, podendo exceder 1000 $\mu\text{S.cm}^{-1}$, especialmente em ambientes impactados ou que recebem grandes quantidades de STD devido ao escoamento superficial (CHAPMAN, 1996; PEDRAZZI *et al.*, 2013).

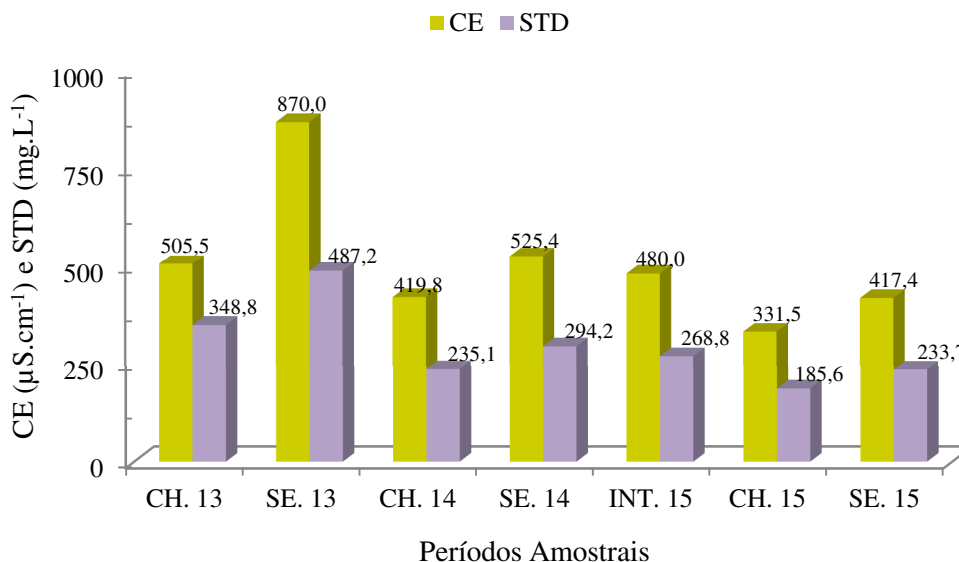
Na Figura 16 está ilustrada a correlação existente entre CE e STD, onde observa-se que, para o período de monitoramento das águas do reservatório Poção da Ribeira, cerca de 93% da variação da condutividade elétrica é dada pela variação na concentração de STD. É possível visualizar que a relação STD/CE fica praticamente constante, assumindo o valor aproximado de 0,56, o que mantém os pontos próximos a linha de tendência, com exceção do período CH. 13, com o valor de 0,69 para STD/CE.

Figura 16 – Correlação da CE com os STD na água do reservatório Poção da Ribeira



É apresentada na Figura 17 a variação sazonal dos parâmetros CE e STD, como já discutido, a relação entre esses parâmetros é significativa, de modo que o comportamento sazonal de ambos se mostrou semelhante, apresentando valores menos elevados durante as estações chuvosas e um acréscimo na concentração nos períodos secos, indicando que o aumento da concentração de sais minerais nas águas do corpo hídrico estudado, provavelmente, é provocado pelo processo de evaporação.

Figura 17 – Variação sazonal do CE e STD na água do reservatório Poção da Ribeira



Avaliando o comportamento da CE e concentração de STD verifica-se uma redução da magnitude da salinidade das águas superficiais do reservatório Poção da Ribeira ano após ano, indicando uma provável diluição dessas águas, resultante do regime de chuvas de cada ano, essa hipótese será melhor avaliada com a análise na coluna d'água dos parâmetros CE e STD, onde será verificada a existência de compartimentalização vertical na zona lacustre do reservatório.

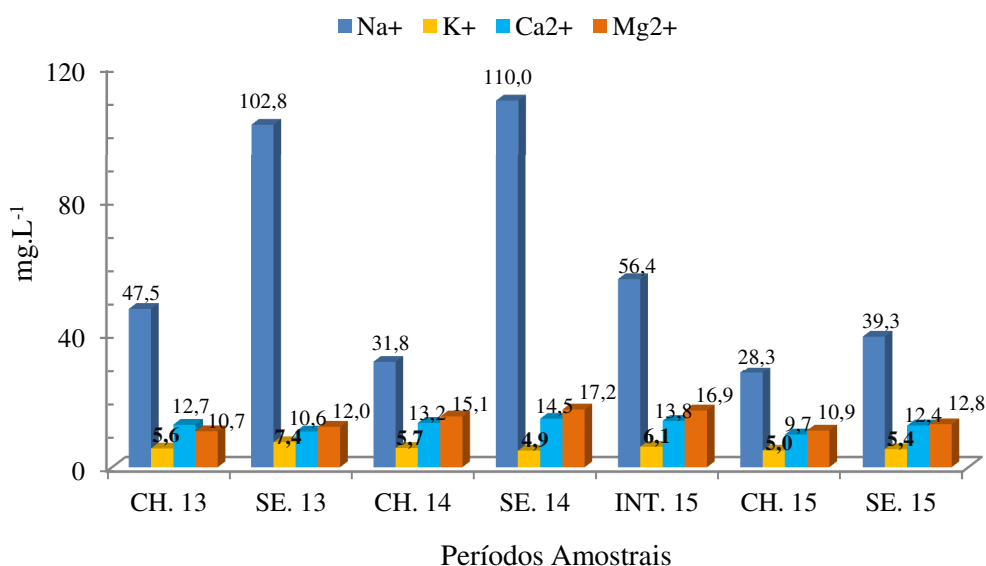
Com o objetivo de avaliar as características das águas utilizadas para irrigação no Perímetro Irrigado Cachoeira II, no município de Serra Talhada, Pernambuco, Fernandes *et al.*, (2009), constataram que a água utilizada para irrigação no perímetro irrigado apresenta risco de salinização, demonstrado pelos altos valores de CE encontrados, e sodificação em época do ano específica, sendo que as águas dos poços apresentaram os maiores valores de CE indicando maior risco do seu uso para a irrigação.

O conteúdo iônico das águas superficiais é determinado principalmente pelos cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} e K^{+} e pelos ânions HCO_3^{-} e /ou CO_3^{2-} , SO_4^{2-} e Cl^{-} , íons que constituem os principais sais minerais dissolvidos na água. Esses sais têm sua origem na dissolução ou intemperismo de rochas e solos, incluindo a dissolução lenta do calcário, gesso e de outros minerais, sendo que a variação e composição desses íons na água são influenciadas pelo

ambiente terrestre, pelo clima, pelo intercâmbio entre água e sedimento e pelas atividades humanas (PAYNE, 1986; AYRES; WESTCOT, 1999).

Para as águas do reservatório estudado houve, dentre os cátions, predominância de sódio (Na^+) em todos os períodos amostrais, como pode ser observado na Figura 18, apresentando as concentrações mais elevadas durante os períodos secos, principalmente em SE.13 e SE.14. Cabe ressaltar que a magnitude das concentrações de Na^+ foi superior em, ao menos, duas vezes as concentrações apresentadas pelos demais cátions, demonstrando que essas são águas predominantemente sódicas e, por tanto, podem apresentar risco de sodificação do solo quando usadas na irrigação.

Figura 18 – Variação sazonal dos cátions na água do reservatório Poção da Ribeira

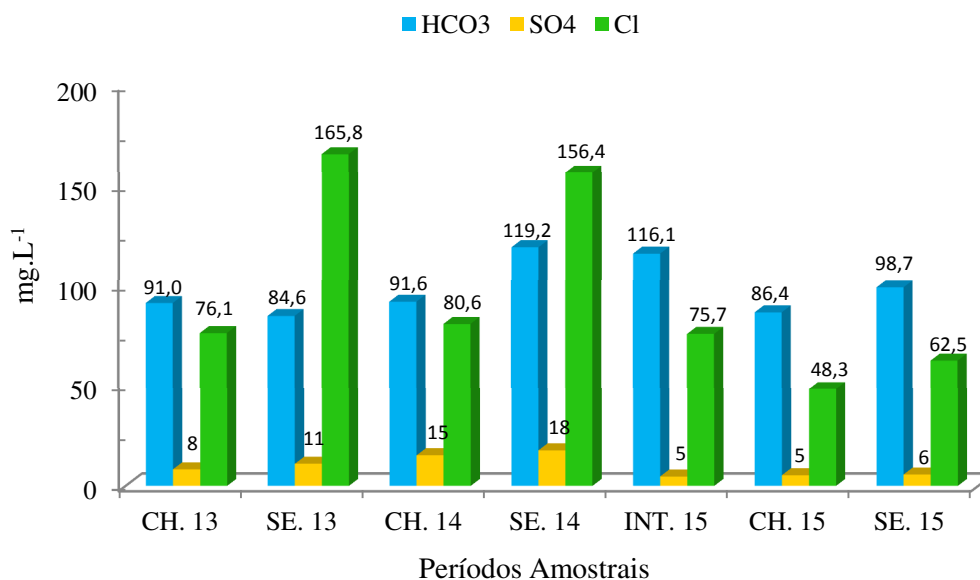


Para os demais cátions a variação das concentrações com a sazonalidade foi pequena, comparada com a observada para o Na^+ , onde o potássio (K^+) variou de 4,9 a 7,4 mg.L⁻¹, com valor máximo apresentado no período SE. 13, o cálcio (Ca^{2+}) apresentou valores compreendidos no intervalo de 9,2 a 14,5 mg.L⁻¹, e para o magnésio (Mg^{2+}) os valores máximo e mínimo foram 10,3 e 17,2 mg.L⁻¹, respectivamente, com maior concentração observada em SE. 14 para ambos, Ca^{2+} e Mg^{2+} .

A variação sazonal das concentrações aniônicas está apresentada na Figura 19, diferentemente do que foi observado para os cátions onde houve predominância de um íon, observa-se a existência de uma alternância entre os íons bicarbonato (HCO_3^-) e cloreto (Cl^-)

com os períodos chuvoso e seco, respectivamente, comportamento verificado nos anos de 2013 e 2014.

Figura 19 – Variação sazonal dos ânions na água do reservatório Poção da Ribeira



As principais fontes de cloreto nas águas superficiais são: a deposição atmosférica de aerossóis marinhos, intemperismos de rochas sedimentares (principalmente salgema), efluentes domésticos e industriais e lixiviação de solos de áreas agrícolas (CHAPMAN, 1996).

Durante o ano de 2015 pode-se visualizar que as concentrações de HCO₃⁻ foram superiores as concentrações dos demais ânions, apresentando as maiores concentrações nos períodos INT.15 e SE.15. Chapman (1996), afirma que presença de bicarbonatos em águas naturais é resultante da interação água/atmosfera e da respiração dos microrganismos aquáticos, sendo a degradação de rochas carbonáticas outra importante fonte deste ânion.

Em termos de dominância iônica, as águas do reservatório Poção da Ribeira se revelaram, sódicas, em relação aos cátions, e bicarbonatas e cloretadas em relação aos ânions, como ilustrado na Tabela 13.

Buscando identificar os principais processos geoquímicos responsáveis pela composição química de lagos rasos situados na bacia de drenagem do rio Salado, na Província de Buenos Aires, Argentina, Cirelli *et al.*, (2004), mostraram que a composição iônica das águas da área de estudo é fortemente alcalina, com predominância dentre os cátions do sódio e do potássio, não sendo identificado ânion dominante.

Tabela 13 – Ordem de dominância iônica das águas do reservatório Poção da Ribeira

PERÍODOS AMOSTRAIS	CÁTIONS	ÂNIONS
CH. 13	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$
SE. 13	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$	$\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$
CH. 14	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$
SE. 14	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$	$\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$
INT. 15	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$
CH. 15	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$
SE. 15	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$

Fontes *et al.*, (2007), avaliaram a evolução da salinidade das águas superficiais na área de drenagem da bacia representativa do rio Jacuípe e da bacia experimental do rio Cedro, ambos na região semiárida do estado da Bahia, Neste trabalho foi constatado o aumento da salinização e do risco de sodificação, observando a elevação dos teores de sais no sentido das nascentes para foz de ambas as bacias. Os autores encontraram predominância do íon cloreto nas águas da região estudada, classificando-as como cloretada sódica, salientando que as nascentes apresentaram baixa salinidade e predominância de águas bicarbonatadas.

Em Chennai, capital do estado de Tamil Nadu, na Índia, Kumar *et al.*, (2014), estudaram as características geoquímicas das águas subterrâneas e a sua qualidade quanto ao uso para o abastecimento humano. O estudo revelou que as águas da área variam de doce para salobra, com predominância dos íons Na^+ e Cl^- dentre os cátions e ânions investigados, revelando predominância de águas cloretadas sódicas, seguidas por cloretadas mistas (cálcicas e magnesianas).

Desta forma, infere-se que o regime de chuvas associado aos processos de lixiviação dos solos da bacia de drenagem e a evaporação têm influência significativa na composição e na variação sazonal dos íons presentes nas águas, sendo visualizada uma provável redução na salinidade decorrente das chuvas ocorridas no ano de 2015, que elevaram as águas do reservatório ao maior nível registrado durante o monitoramento.

5.7. ESTRATIFICAÇÃO TÉRMICA E QUÍMICA

A distribuição de calor na coluna d'água exerce forte influência sobre a densidade e os diversos parâmetros da qualidade da água, onde a estratificação e a desestratificação térmica da coluna d'água são acompanhadas de alterações físicas e químicas da qualidade da água nas diversas profundidades. Este fenômeno, observado principalmente em ambientes lênticos, é resultante da baixa velocidade longitudinal desses ecossistemas, associada as suas

profundidades, onde vários fatores influenciam o processo, sendo os de maior relevância o aquecimento das camadas superficiais pela radiação solar, a direção e força dos ventos e os fluxos de entrada e saída de água (TUCCI; MENDES, 2006; ELÇI, 2008; MIRANDA *et al.*, 2009).

De acordo com Tundisi e Tundisi (2008), a existência de forte inter-relação entre os sistemas aquáticos lênticos e a atmosfera faz com que os fatores climatológicos e hidrológicos sejam funções de força que atuam sobre os eventos que ocorrem no lago, tais como estrutura térmica e circulação vertical e horizontal. Por outro lado, as correntes afluentes e efluentes ao reservatório têm influência devido às suas características de volume, temperatura e densidade, sendo esta influência mais pronunciada em reservatórios com tempo de residência pequeno, pois os volumes transientes são significantes frente ao volume acumulado (TUCCI; MENDES, 2006).

Um método amplamente utilizado para a avaliação da existência de estratificação térmica é o critério de gradiente, esse método requer que, para que haja estratificação, o gradiente de temperatura tem que apresentar valores maiores que um valor previamente escolhido. Vários autores sugerem valores que variam de $0,05\text{ }^{\circ}\text{C.m}^{-1}$ a $2,0\text{ }^{\circ}\text{C.m}^{-1}$. No entanto, não há metodologia estabelecida para a determinação do valor do critério a ser utilizado (BERTRAND *et al.*, 2010; COLOSO *et al.*, 2011; FEE *et al.*, 1996; HAO *et al.*, 2012; ZANG *et al.*, 2015). Para este trabalho foi escolhido o critério de $0,2\text{ }^{\circ}\text{C.m}^{-1}$, valor amplamente utilizado em águas de ambientes lênticos (WILHELM; ADRIAN, 2008; ZANG *et al.*, 2015).

Os resultados da variação da temperatura com a profundidade estão dispostos na Tabela 14, discriminados por campanha de amostragem, ou seja, período intermediário (INT.15), período chuvoso (CH.15) e período seco (SE.15) do ano de 2015. A diferença entre as temperaturas da superfície ($28,94\text{ }^{\circ}\text{C}$) e do fundo ($26,30\text{ }^{\circ}\text{C}$) durante o período seco foi de $2,64\text{ }^{\circ}\text{C}$, resultando em um gradiente de variação de temperatura, para uma variação uniforme, superior a $0,20\text{ }^{\circ}\text{C.m}^{-1}$, indicando, segundo o critério estabelecido para o gradiente, a ocorrência de estratificação térmica da coluna d'água. Já para o CH.15 a diferença de temperatura ocorrida nesse período apresentou valor de $1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, indicando a não ocorrência de estratificação térmica, pois o gradiente encontrado, para variação uniforme da temperatura com a profundidade, foi inferior a $0,15\text{ }^{\circ}\text{C.m}^{-1}$. O período INT.15 se mostrou semelhante a CH.15, apresentando gradiente de variação de $0,18\text{ }^{\circ}\text{C.m}^{-1}$.

Tabela 14 – Variação da temperatura com a profundidade para o reservatório Poção da Ribeira em 2015

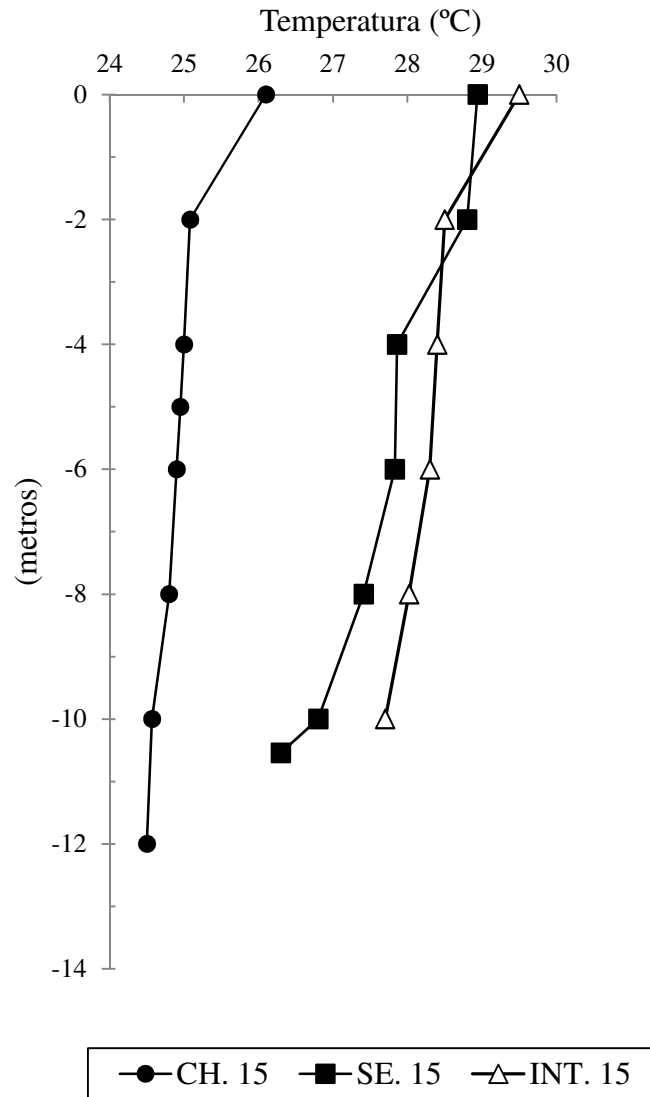
PROFUNDIDADE (m)	TEMPERATURAS (°C)		
	INT.15	CH.15	SE.15
0	29,50	26,10	28,94
2	28,50	25,08	28,80
4	28,40	25,00	27,86
6	28,30	24,90	27,83
8	28,02	24,80	27,41
10	27,70	24,57	26,80
11	-	24,50	26,30
12	-	24,50	-

Para avaliar a compartimentalização vertical das águas do reservatório Poção da Ribeira, se fez necessário verificar a variação da temperatura em cada extrato da coluna d'água, seguindo o critério de espacialização estabelecido para leitura das variáveis medidas, sendo utilizada neste trabalho a leitura dos parâmetros a cada 2 m de profundidade. Uma melhor visualização da estratificação térmica nos diferentes períodos de amostragem para o ano de 2015 é apresentada na Figura 20.

Em CH.15 foi observado a formação de estratificação térmica na camada superficial (0 – 2 m), com um gradiente de temperatura de $0,51\text{ }^{\circ}\text{C.m}^{-1}$. Abaixo de 2 m a temperatura permaneceu uniforme com uma variação de $0,12\text{ }^{\circ}\text{C.m}^{-1}$. Variação semelhante foi observada para INT.15, como ilustrado na Figura 20, com gradiente de $0,50\text{ }^{\circ}\text{C.m}^{-1}$ para profundidade de 0 – 2 m, variação uniforme de $0,05\text{ }^{\circ}\text{C.m}^{-1}$ entre 2 – 6 m, e um gradiente de redução de temperatura entre $0,14\text{ }^{\circ}\text{C.m}^{-1}$ para as camadas mais profundas (6 – 10 m).

No período seco (SE.15) a coluna d'água apresentou uma estratificação significativa, com o desenvolvimento de uma termoclina na profundidade entre 2 – 4 m, onde o gradiente de temperatura foi de $0,47\text{ }^{\circ}\text{C.m}^{-1}$. A temperatura permaneceu uniforme entre 0 a 2 m e mostrou uma variação aproximada de $0,2\text{ }^{\circ}\text{C.m}^{-1}$ abaixo de 4 m de profundidade. Observou-se um aprofundamento do termoclina no período seco, fato que pode está associado à radiação solar, visto que neste período as águas apresentaram menor turbidez, favorecendo a penetração da luz em maiores profundidades. De acordo com Tucci e Mendes (2006), em climas onde a variação de temperatura ao longo do período sazonal é pequena, a radiação solar é o fator de maior relevância para a manutenção da estratificação térmica.

Figura 20 – Perfil térmico da coluna d'água para o ano de 2015



Rodrigues *et al.*, (2012), observaram a existência de estratificação térmica nas águas do reservatório Dona Francisca, localizado no estado do Rio Grande do Sul, apenas nos meses de verão e Elçi (2008) verificou também a existência de forte estratificação térmica das águas do Lago Tahtali, na Turquia, durante os meses mais quentes.

Para Tundisi e Tundisi (2008), a absorção de ondas longas, no infravermelho, pela camada superficial provoca o aquecimento térmico dessa, levando a uma diminuição da densidade, onde a intensidade dessa radiação varia com a latitude, estação do ano, hora do dia e cobertura de nuvens. Os autores reiteram que essa absorção também ocorre nas camadas próximas à superfície, e que a intensidade da radiação decresce exponencialmente com a profundidade, onde as características da água como a turbidez, irão determinar a espessura

dessa camada (TUNDISI; TUNDISI, 2008), resultando em um gradiente de absorção calor com a profundidade e consequente estratificação térmica.

Estão dispostos na Tabela 15 os dados de variação da Condutividade Elétrica (CE) e Sólidos Totais Dissolvidos (STD) com a profundidade, como os valores de STD foram estimados a partir da CE, era esperado que as variações dos parâmetros se mostrassem semelhantes.

Tabela 15 – Variação da CE e STD com a profundidade para o reservatório Poção da Ribeira em 2015

Profundidade (m)	INT.15		CH.15		SE.15	
	CE ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	STD (mg.L^{-1})	CE ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	STD (mg.L^{-1})	CE ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	STD (mg.L^{-1})
0	478,8	311,2	316,1	176,2	414,3	232,7
2	472,3	307,0	309,5	176,2	413,0	231,9
4	471,6	306,6	309,1	176,2	405,9	231,9
6	470,5	305,8	308,7	176,2	405,7	231,9
8	470,5	305,8	310,4	177,1	400,4	231,1
10	472	306,8	318,5	182	395,8	231,1
11	-	-	352,3	202,7	391,2	230,3
12	-	-	422,1	240,8	-	-

Verifica-se que para SE.15 não houve variação significativa da condutividade elétrica, e consequentemente dos STD, sendo observada uma diferença, entre a superfície ($414,3 \mu\text{S.cm}^{-1}$) e a camada mais profunda ($391,2 \mu\text{S.cm}^{-1}$), de $23,1 \mu\text{S.cm}^{-1}$, resultando em uma redução de $2,10 \mu\text{S.cm}^{-1}.\text{m}^{-1}$.

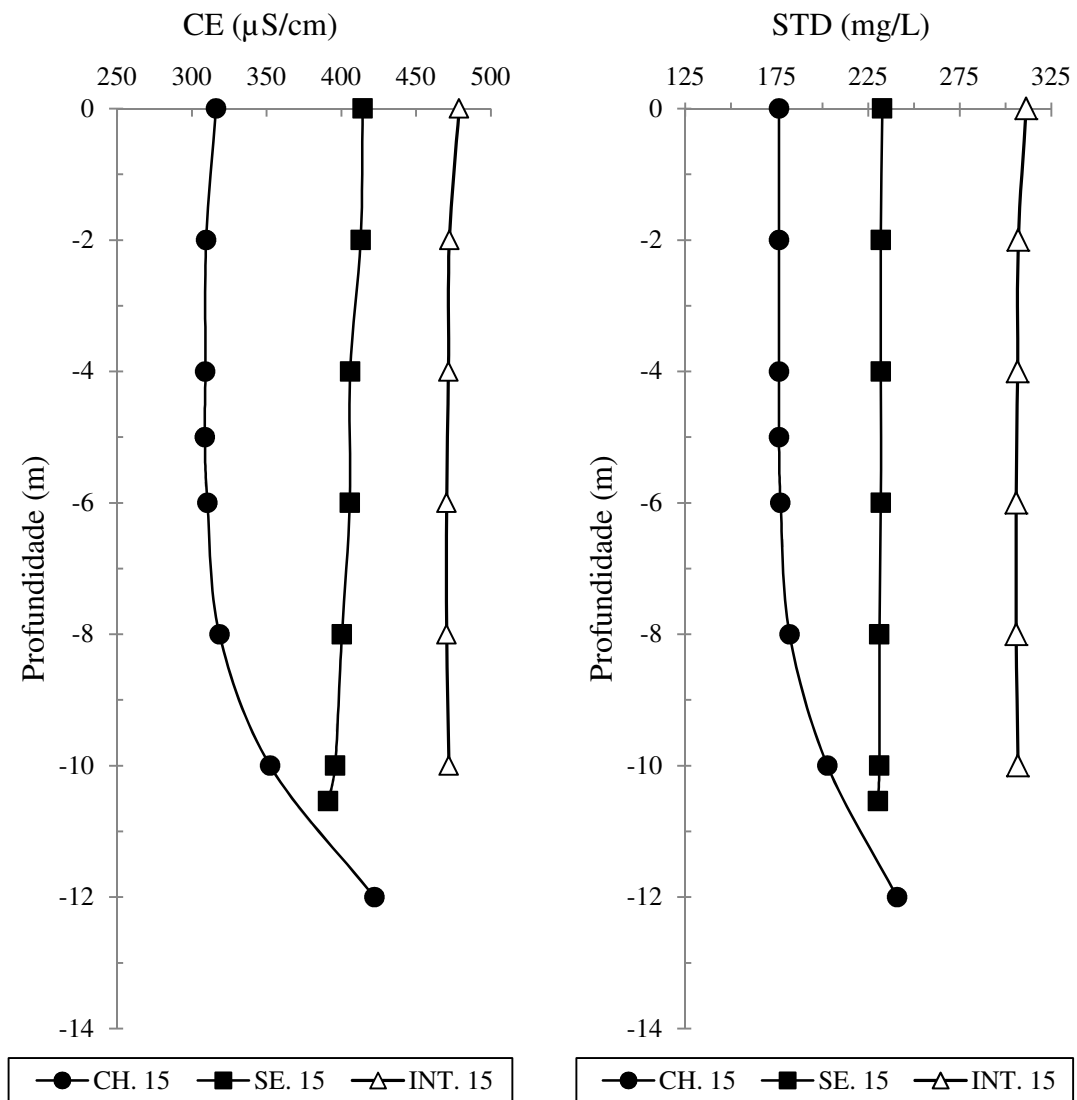
Diferente do ocorrido para a temperatura em INT. 15, com relação à CE, os valores apresentaram variação com a profundidade semelhante ao observado em SE. 15, apresentando um gradiente de $1,04 \mu\text{S.cm}^{-1}.\text{m}^{-1}$ para profundidade de 0 – 8 m.

Para o período chuvoso, observa-se uma redução da condutividade elétrica para as camadas compreendidas entre 0 – 6 m de profundidade, apresentando gradiente de variação de $1,23 \mu\text{S.cm}^{-1}.\text{m}^{-1}$. Em contra partida, para profundidades abaixo de 6 m foi verificado um aumento significativo da CE, onde o gradiente de variação apresentou um valor acima de $18,9 \mu\text{S.cm}^{-1}.\text{m}^{-1}$, sendo muitas vezes superior ao apresentado nas camadas inferiores a 6 m de profundidade, com a ressalva que para esse extrato do reservatório o gradiente é positivo, ou

seja, houve um aumento de aproximadamente $113,5 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ na condutividade elétrica para as camadas compreendidas entre 6 – 12 m de profundidade.

Na Figura 21 são mostradas as curvas que representam a variação dos parâmetros CE e STD com a profundidade da coluna d'água para as campanhas de amostragens ocorridas nos períodos INT. 15, CH. 15 e SE. 15. Nestas pode-se verificar a grande semelhança existente entre os perfis de estratificação observados nos períodos INT. 15 e SE. 15.

Figura 21 – Perfis de CE e STD na coluna d'água do reservatório Poção da Ribeira



Observa-se nas curvas que para os períodos intermediário e seco, onde a variação da CE com a profundidade foi pouco significativa, houve ocorrência de maior mistura da coluna d'água, considerando-se os parâmetros CE e STD, fato que pode está associado à concentração de espécies químicas dissolvidas resultantes da lixiviação dos sais originados do

intemperismo e evaporação, como citado por Santos *et al.*, (2000), associados à baixa taxa de renovação das águas desse reservatório.

O comportamento das curvas durante o período chuvoso, onde visualiza-se a existência da compartimentalização vertical das águas do reservatório Poção da Ribeira, demonstra que a água menos salina, resultante do aporte hídrico das precipitações pluviométricas, permaneceu na extrato situado entre 0 – 8 m de profundidade, já nas profundidades inferiores a 8 m, estão alocadas as águas de maior salinidade.

Elçi (2008), verificou a existência de estratificação da CE, nas águas do lago Tahtali, na Turquia, durante o período de maior temperatura, comportamento que, neste mesmo trabalho, foi semelhante ao observado para a temperatura. O autor associou a existência da estratificação de CE à formação de carbonatos, resultantes do CO₂ produzido da respiração celular e decomposição de matéria orgânica nas regiões mais profundas do lago.

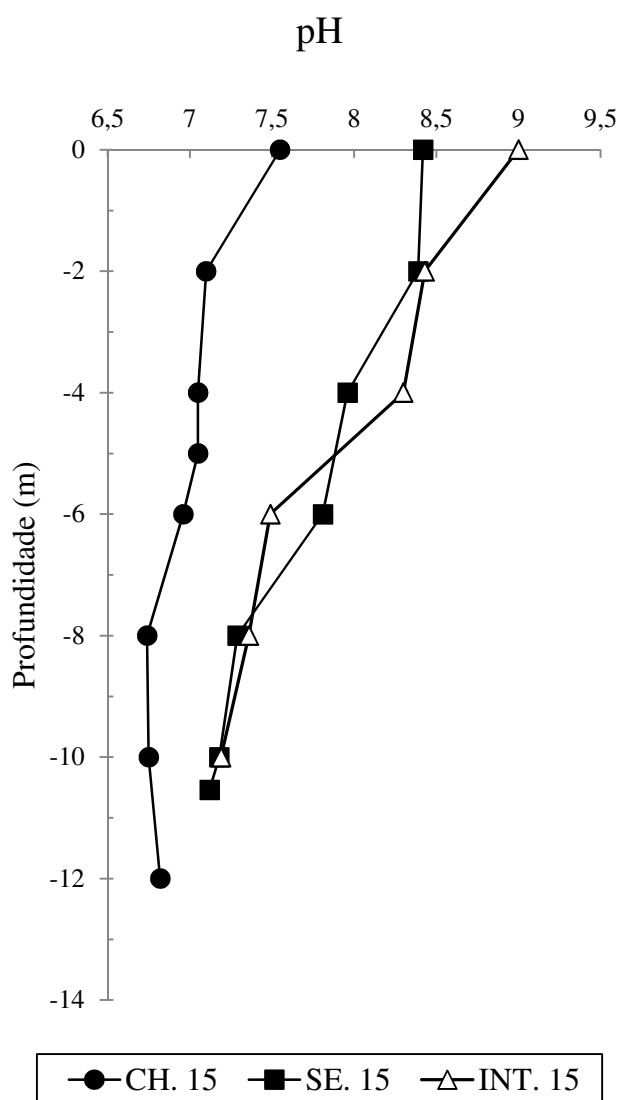
Segundo Tundisi e Tundisi (2008), destacam-se como fatores que podem alterar a densidade da água e os gradientes verticais a pressão e a presença de substâncias dissolvidas, onde sais dissolvidos aumentam a densidade da água.

Tendo por base essas informações e os perfis de condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos das águas do reservatório Poção da Ribeira, é possível que o grande aumento desses parâmetros, observado para as camadas mais profundas durante o período chuvoso do ano de 2015, seja resultante do aumento da densidade das águas desse manancial devido a concentração de sais durante os períodos de estiagem (por meio do processo de evaporação) e com o aumento do nível do reservatório durante os períodos de chuva, as águas mais densas ficam confinadas ao hipolímnio, ficando as águas menos densas, com menor salinidade, nos extratos mais superficiais da coluna d'água. Como não é prática, durante a operação do reservatório, a descarga de fundo durante períodos de excedente hídrico, o tempo de residência dessas águas se torna ainda maior, agravando assim o processo de salinização deste manancial.

Para as águas do reservatório Poção da Ribeira, as curvas de variação do pH com a profundidade da coluna d'água, discriminadas pelos períodos de amostragem (INT.15, CH.15 e SE.15), estão apresentadas, em um plano cartesiano, na Figura 22.

Nos perfis pode-se observar que para todos os períodos amostrais, houve redução do pH com a profundidade, ficando evidente o comportamento semelhante ao da temperatura. Utilizando a análise gráfica da relação Temperatura x pH, técnica de regressão linear, encontramos valores para o coeficiente de correlação linear (R^2) de 0,83, 0,91 e 0,93 para os períodos INT.15, CH.15 e SE.15, respectivamente, o que demonstra a forte influência da estratificação térmica para a variação do pH na coluna d'água.

Figura 22 – Perfis do pH na coluna d'água do reservatório Poção da Ribeira



Para o período seco podemos observar que na primeira camada, de profundidade de 2 m, a diminuição do pH foi pouco significativa, ocorrendo variação nas camadas de profundidades 2 – 4 m, 4 – 6 m e 6 – 8 m, respectivamente, sendo observado uma sutil redução do pH nas camadas mais profundas. Resultados semelhantes foram observados por Elçi (2008), que verificou a diminuição do pH nas camadas inferiores do lago Tahtali, na

Turquia, durante os meses de verão, o autor atribuiu o diminuição do pH a não penetração de luz na termoclina, o que impossibilitou o consumo de CO₂ pela fotossíntese de organismos autotróficos.

Durante o período chuvoso, observa-se um forte abaixamento do pH já na camada superficial (0 – 2 m), se comparado ao período seco, apresentado valores de 7,5 e 7,1 respectivamente, que pode está associado a menor entrada de luz devido ao aumento de turbidez das águas, uma leve variação foi observada entre 4 – 8 m de profundidade. Já para as camadas mais profundas, abaixo de 8 m, verifica-se um aumento sutil do pH.

Assim como observado para temperatura, verifica-se a existência de semelhança entre os perfis de pH nos períodos INT.15 e CH.15 para as profundidades de 0 – 4 m, onde houve abaixamento significativo entre 0 – 2 m e uma diminuição pequena entre 2 – 4 m, para profundidades abaixo de 4 m observa-se um comportamento distinto para INT. 15, onde há um forte abaixamento do pH entre 4 – 6 m, variando de 8,3 – 7,5, sendo registrado um leve abaixamento do pH para as camadas mais profundas (6 – 10 m) do reservatório.

O pH em ambientes aquáticos sofre grande influência dos processos realizados pela biota existente nesses ecossistemas, organismos autotróficos (que realizam fotossíntese) tendem a elevar o pH do meio devido a assimilação do CO₂ presente na água. Por outro lado, os processos de decomposição e respiração, realizados por organismos heterotróficos, geralmente liberam CO₂ e tendem a baixar o pH, devido a formação do ácido carbônico (FERNANDES *et al.*, 2005; HELLAWELL, 1989; MATSUZAKI, *et al.*, 2004; TALLING, 2010). Segundo Margalef (1983), a velocidade dos processos biológicos é dependente da temperatura, sendo este um dos fatores responsáveis pelo aumento da atividade metabólica e consequentemente, aumento da taxa de crescimento desses organismos.

Desta forma, podemos hipotetizar que um dos motivos de haver maior pH nas camadas superiores do reservatório Poção da Ribeira tem como um dos seus fatores, a fotossíntese realizada por organismos autotróficos, principalmente durante o período seco, onde a turbidez e cor das águas se apresentaram mais baixas favorecendo a penetração de luz. Para as camadas mais inferiores, abaixo da zona fótica, a ocorrência de respiração e/ou decomposição da matéria orgânica realizada por bactérias pode ser o provável motivo do abaixamento do pH, sendo este mais pronunciado durante o período seco e intermediário, devido a temperaturas mais elevadas, o que favorece o aumento da atividade metabólica desses organismos.

5.8. ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA

Os resultados da análise estatística multivariada estão expostos nos tópicos seguintes desta dissertação, a saber: 4.8.1 e 4.8.2. Onde inicialmente foi discutida a análise de agrupamentos, sendo avaliadas as similaridades existentes entre os períodos amostrais, resultando na formação de grupos hierárquicos em um gráfico denominado dendograma. A posteriori foram verificados quais dos parâmetros da qualidade da água são responsáveis pela variabilidade da matriz de dados, utilizando para isto a análise de componentes principais (ACP), técnica que reduz o número de dimensões presentes nos dados, onde as novas variáveis definidas pela ACP podem ser exibidas em um diagrama de dispersão, apresentando as amostras individuais como pontos em um espaço dimensional.

5.8.1. Análise de Agrupamento Hierárquico

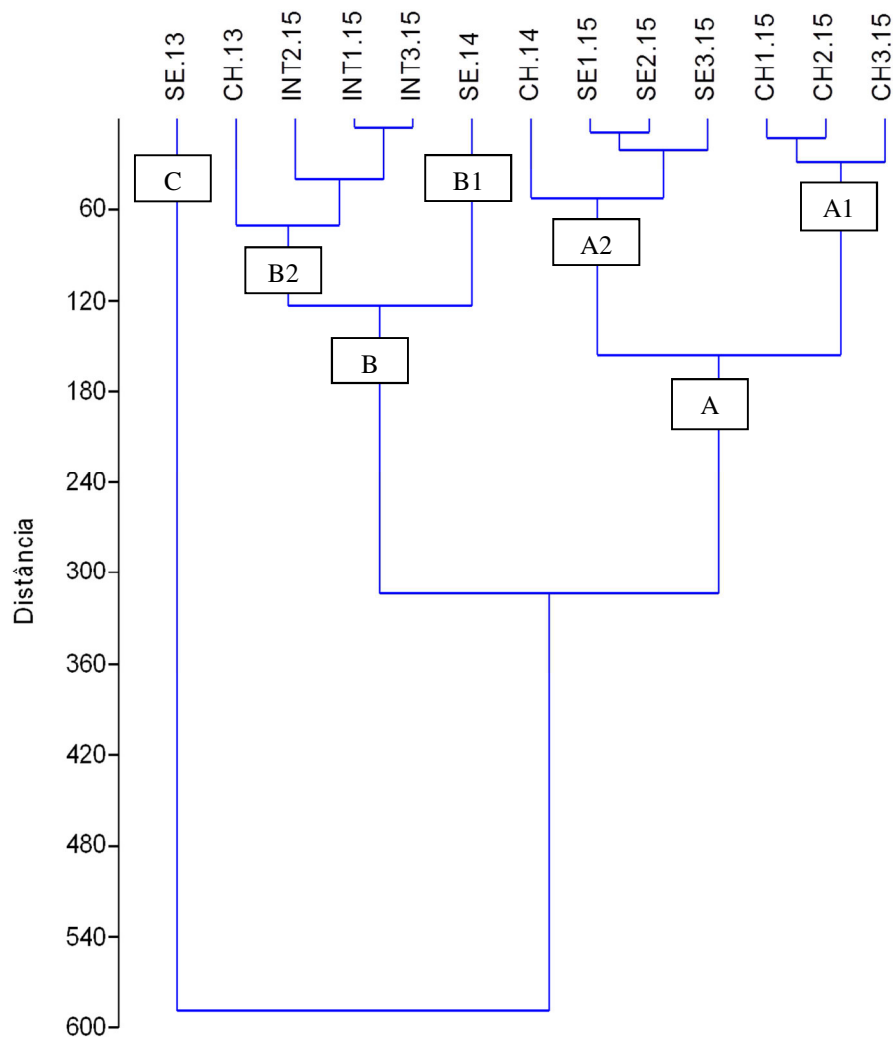
Objetivando verificar a existência, ou inexistência, de similaridades entre os períodos sazonais de amostragem ocorridas durante o monitoramento da qualidade da água do reservatório Poção da Ribeira, foi utilizada a análise estatística multivariada de agrupamento hierárquico com distância Euclidiana, pelo método de Ward.

O dendograma gerado da análise estatística está apresentado na Figura 23, onde visualiza-se os agrupamentos formados, sendo divididos em 3 grupos principais (A, B e C), e 4 subgrupos (A1, A2, B1 e B2).

O grupo A foi composto pelo período CH.14 e os três sítios de amostragem dos períodos CH.15 e SE.15. Neste grupo observa-se que houve separação entre as amostragens ocorridas no ano de 2015, onde CH.15 compõe o subgrupo A1 e SE.15 o subgrupo A2. Demonstrando que, apesar de CH.15 e SE.15 estarem no mesmo grupo, a separação existente evidencia a variação sazonal dos parâmetros da qualidade da água nesse ano.

Chama a atenção, no subgrupo A2, a presença do período CH.14, que apresentou similaridade com a estação seca do ano de 2015, fato que comprova a influência da magnitude do aporte hídrico ocorrido durante o ano de 2015 na qualidade das águas, de forma que a estação de estio se mostrou similar à estação chuvosa do ano anterior.

Figura 23 – Dendograma das similaridades dos períodos sazonais de amostragem.



Compondo o grupo B estão os períodos CH.13, SE.14 e os três sítios de amostragens de INT.15. O agrupamento da estação seca do ano de 2014 com o INT.15 é justificado pelo nível do reservatório verificado na primeira coleta de 2015, consequência da alta temperatura e baixa pluviosidade ocorridas em INT.15. O subgrupo B2 revela a similaridade existente entre CH.13 e INT.15, sendo os valores de CE observados nestes períodos a provável causa desta similaridade, que também é favorecida pela semelhança nos valores de turbidez de ambos os períodos amostrais.

O período amostral SE.13 foi separado dos demais períodos, ficando no grupo C, que apresentou a maior distância euclidiana, evidenciando a não existência de similaridade com os

demaís grupos resultantes da análise de agrupamentos. Observa-se, na análise das variações sazonais dos parâmetros da qualidade da água, que o valor da CE para SE. 13 ($870 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), foi muito superior os demais períodos amostrais, apresentando diferença para valor mais próximo de $344,6 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, sendo esta a provável causa da separação deste período das demais campanhas de amostragem.

Varol *et al.*, (2012), utilizando a análise de agrupamento hierárquico com distância Euclidiana, método de Ward, observaram que a amostragem durante apenas duas estações (seca e chuvosa) em um ano, são suficientes para avaliar as variações temporais na qualidade da água dos reservatórios estudados pelos autores.

A análise estatística também foi utilizada por Kumar *et al.*, (2014), para detectar as relações e diferenças existentes entre os parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas em Chennai, na Índia. A matriz de dados foi submetida à análise de agrupamento hierárquico, que gerou três grupos estatisticamente significantes, ficando a maioria das amostras nos grupos I e II, onde houve boa correlação entre o conteúdo iônico, com a CE e STD, e as demais amostras no grupo III, onde a CE e STD foram mais significantes.

5.8.2. Análise de Componentes Principais

Complementando a análise de agrupamentos hierárquicos, que demonstrou a variação sazonal dos parâmetros de qualidade da água, foi utilizada análise de componentes principais (ACP) para a identificação dos parâmetros que são responsáveis pela variabilidade da matriz de dados. Esta ferramenta estatística multivariada revelou três componentes principais (CP), que são responsáveis por 99,0 % da variância total da matriz de dados.

As porcentagens de variância de cada CP, assim como os pesos fatoriais de cada parâmetro de qualidade da água estão dispostos na Tabela 16. Esses pesos expressam a relação entre os fatores e variáveis e permitem a identificação das variáveis com maiores inter-relações em cada componente (ANDRADE *et al.*, 2007)

A primeira componente principal (CP1), responsável por 94 % da variabilidade da matriz de dados, obteve como variáveis mais significativas na sua composição os parâmetros CE e STD, exibindo pesos de 0,846 e 0,474 respectivamente.

Tabela 16 – Pesos dos parâmetros da qualidade da água para as componentes principais

	CP1	CP2	CP3
AUTOVALORES (%)	94	3,1	1,9
PARÂMETROS	PESOS DOS PARÂMETROS PARA CADA COMPONENTE PRINCIPAL		
Temperatura da Água	-0,002	0,047	0,050
Turbidez	-0,003	0,026	0,050
pH	0,001	0,014	0,020
Alcalinidade	0,006	0,645	0,309
Dureza	0,035	0,020	0,785
OD	-0,002	0,024	0,004
COD	-0,004	-0,026	-0,023
P _{total}	0,000	0,002	0,000
P – PO ₄ ³⁻	0,000	0,001	-0,001
N – NO ₃ ⁻	-0,005	-0,022	-0,038
N – NO ₂ ⁻	0,000	-0,002	-0,003
N – NH ₃	0,000	0,000	0,000
CE	0,846	-0,138	0,075
STD	0,474	-0,078	0,043
Na ⁺	0,131	0,435	-0,210
K ⁺	0,004	-0,003	0,014
Ca ²⁺	0,002	0,051	0,025
Mg ²⁺	0,003	0,076	0,039
HCO ₃	0,006	0,397	0,189
SO ₄ ²⁻	0,010	0,055	-0,060
Cl ⁻	0,201	0,442	-0,433

Responsável por 3,1 % da variabilidade da matriz de dados, a segunda componente principal (CP2) teve, em sua composição, os parâmetros Alcalinidade, Na⁺, HCO₃⁻ e Cl⁻ como variáveis de maior significância, apresentando pesos respectivos de 0,645, 0,435, 0,397 e 0,442.

O parâmetro dureza foi a variável mais significante para a terceira componente principal (CP3), componente responsável por 1,9 % da variabilidade da matriz de dados, apresentando peso fatorial de 0,785.

Vale ressaltar que todas as componentes principais possuem forte correlação com parâmetros ligados à composição iônica das águas do reservatório Poção da Ribeira, e portanto, são ferramentas úteis para o entendimento do processo de salinização desse manancial.

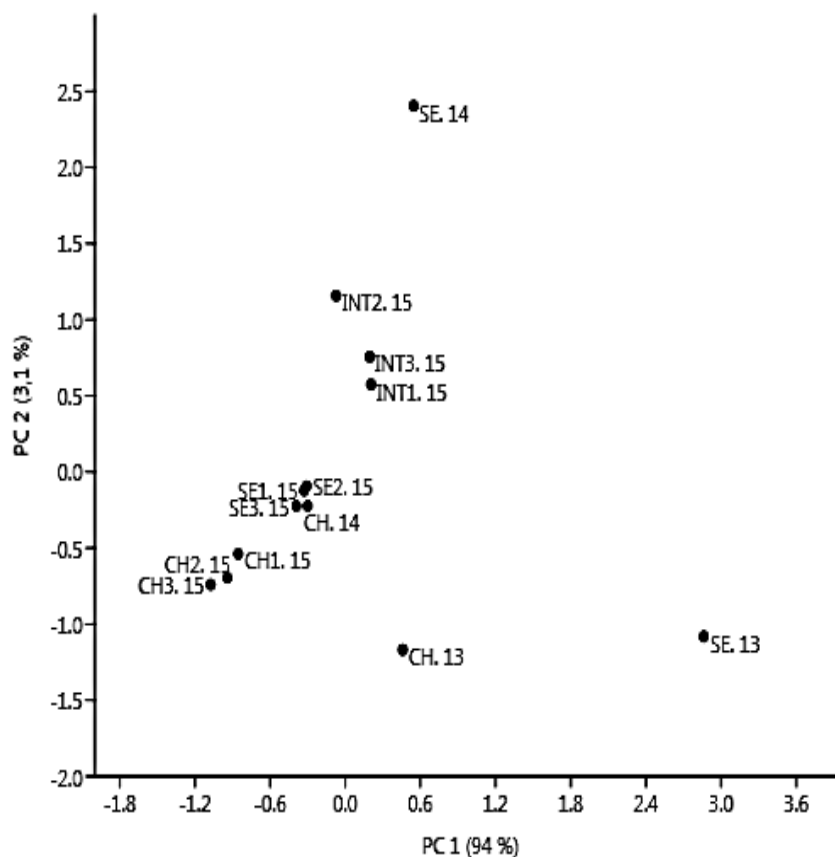
Andrade *et al.*, (2007), no estudo dos fatores determinantes da qualidade das águas superficiais na bacia do Alto Acaraú, no Cerará, mostraram que a análise de componentes principais mostrou-se adequada para 16 variáveis da qualidade da água do estudo supracitado. Os autores encontraram três componentes principais, sendo as variáveis relacionadas com o intemperismo dos componentes geológicos do solo de maior significância para CP1, variáveis relacionadas ao uso e ocupação do solo obtiveram maior significância para CP2. E para CP3, as variáveis a cor e turbidez apresentaram maior significância.

Um diagrama de dispersão entre as CP1 e CP2 está ilustrado na Figura 24, onde os períodos amostrais podem ser visualizados como pontos em um espaço dimensional, facilitando a identificação das variáveis responsáveis pela sua separação, ou seja, possibilitando a identificação dos parâmetros que foram responsáveis pela variação sazonal da qualidade da água.

Como CP1 obteve a maior porcentagem da variabilidade da matriz, a análise da separação dos períodos amostrais tomará por base essa componente.

Assim como visualizado no dendograma, apresentado na Figura 23, verifica-se a existência de três grupos distintos no diagrama de dispersão, separados pela CP1, ou seja, tendo como parâmetros de maior representatividade para a variação a CE e STD. Confirma-se nessa análise que a CE foi a principal causa da variação sazonal no ano de 2013, onde SE. 13 foi separado dos demais períodos sazonais na análise de agrupamento.

Figura 24 – Diagrama de Dispersão para as Componentes CP 1 e CP 2



No grupo A, onde foram agrupados os períodos chuvosos dos anos de 2014 e 2015, assim como SE.15, confirma-se, na análise da dispersão dos períodos amostrais, a similaridade existentes entre esses períodos, principalmente entre CH.14 e SE.14, que apresentaram pouca dispersão em relação a PC1 e a PC2. Também pode-se inferir do diagrama que a divisão em subgrupos do grupo A é justificada pela dispersão apresentadas pelos períodos amostrais que compõem esse grupo em relação a PC1, reforçando a existência da variação sazonal no ano de 2015.

Verifica-se para os períodos amostrais que compõem o grupo B, na análise de agrupamentos, que não houve dispersão significativa entre eles, com relação a PC1, desta forma, o diagrama de dispersão revela que a PC2 foi a responsável pela variabilidade da qualidade da água desses períodos amostrais.

Em três reservatórios (Kralkizi, Dicle e Batman) localizados na bacia do rio Tigre, Turquia, Varol *et al.*, (2012), utilizando a ACP, verificaram a existência de 5 Componentes Principais, responsáveis por cerca de 79,5% da variância total da matriz de dados. A primeira

CP, responsável por 32,9% da variância total, obteve maior correlação com os parâmetros Temperatura, CE, Alcalinidade Total, Dureza Total e Ca^{2+} . A segunda CP obteve correlação com Fósforo Total e SO_4^{2-} e foi responsável por 21,5% da variância total, as demais componentes não obtiveram correlação com nenhum parâmetro da qualidade da água.

5.9. GEOQUÍMICA DAS ÁGUAS DO RESERVATÓRIO POÇÃO DA RIBEIRA

Sendo água um solvente quimicamente ativo, o contato desta com os diferentes componentes das rochas gera uma composição química específica, portanto a constituição geoquímica da água é reflexo da litologia e do grau de intemperismo que dá origem às diferentes características químicas das rochas (NÉGREL, 2006)

O objetivo primário da geoquímica é entender o comportamento dos sistemas baseados no conhecimento das suas propriedades básicas, de forma que, o estudo geoquímico das águas naturais fornece informações significativas sobre intemperismo químico da rocha, bem como a composição química do solo e da água, sendo as características químicas da água determinantes para os seus múltiplos usos (GUPTA; BANERJEE, 2012).

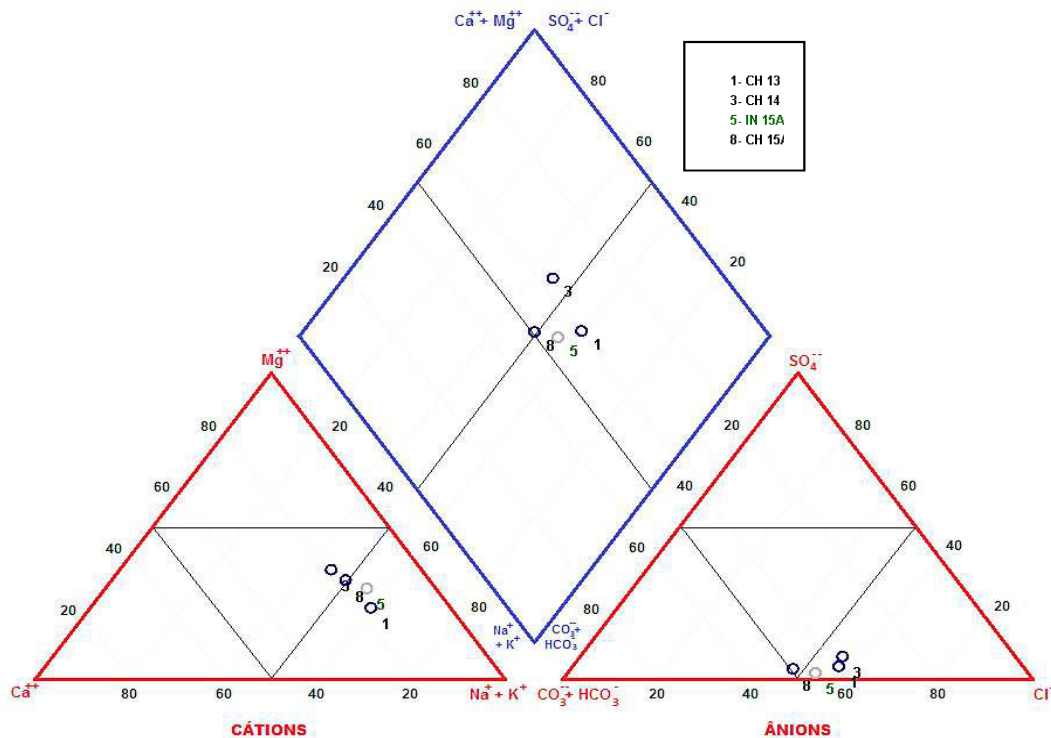
Frente ao exposto, e levando em consideração os resultados da análise estatística multivariada para as águas do reservatório Poção da Ribeira, que revelaram os componentes iônicos como sendo os principais responsáveis pela variabilidade sazonal da qualidade da água, nesta etapa do trabalho são avaliadas, mais detalhadamente, as características iônicas, como base nos íons maiores, das águas do manancial estudado, buscando comprovar a dominância iônica já exposta e classificando-a quando essa dominância e quanto as suas características para o uso na irrigação.

O diagrama de Piper é frequentemente utilizado para a classificação e comparação de distintos grupos de águas quanto ao seu conteúdo iônico, na Figura 25 é apresentado o diagrama de Piper, com os resultados das campanhas de amostragem ocorridas durante os períodos chuvosos do monitoramento da qualidade da água do reservatório Poção da Ribeira.

Por ser um período intermediário, optou-se por representar no diagrama a coleta realizada em INT.15, como não houve variação espacial significativa das características iônicas das águas do manancial estudado durante o ano de 2015, foi utilizado apenas um ponto de cada campanha de amostragem ocorrida nesse ano.

Com relação aos ânions, verifica-se, que a maior parte dos pontos se encontra na região delimitada para águas cloretadas, a exceção ocorre em CH. 15, representado pelo ponto nº 8, que apresentou água do tipo mista.

Figura 25 – Diagrama de Piper para as águas do reservatório Poção da Ribeira nos períodos chuvosos do monitoramento.



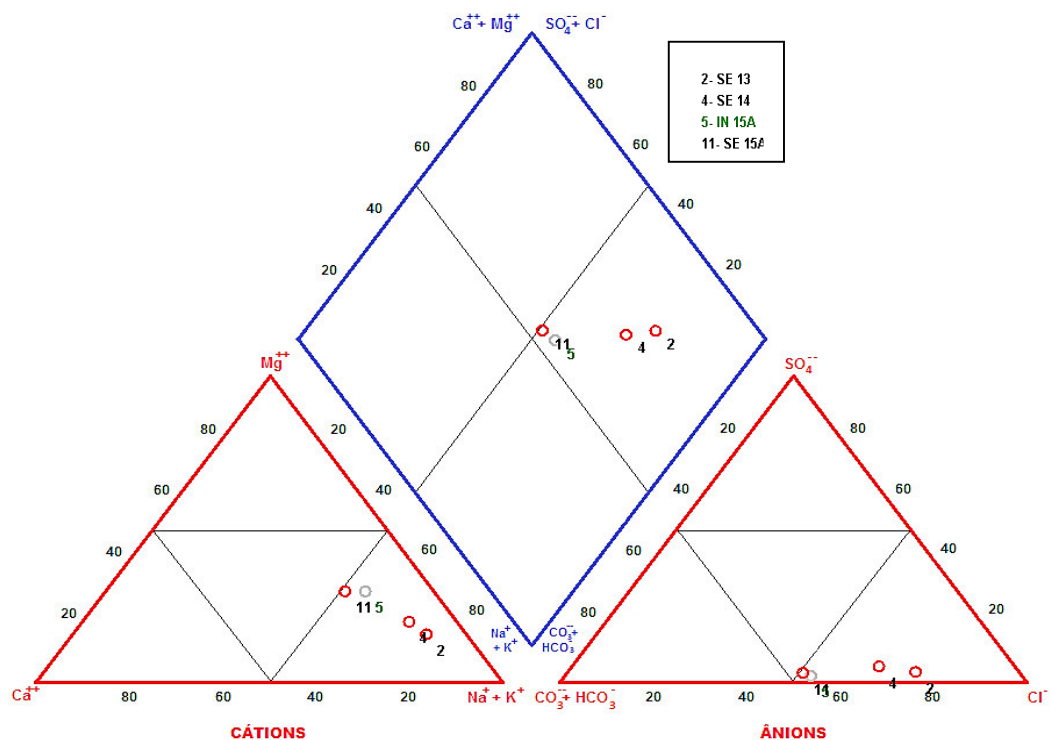
Para os cátions, o que se observa é uma divisão equilibrada, onde os pontos 1 e 5 (CH.13 e INT.15) se mostraram com águas sódicas, já os pontos 3 e 8, que representam os períodos CH.14 e CH.15 se encontram na região especificada para águas mistas, não demonstrando dominância de apenas um cátion.

Para os períodos secos, está representado na Figura 26 o diagrama de Piper, indicando os tipos de água predominantes no reservatório durante épocas de estio.

No diagrama para a época de estio verifica-se que todos os pontos encontram-se na região de dominância do íon cloreto, para os ânions, e na região do sódio, em relação aos cátions, demonstrando a predominância de águas cloretadas/ sódicas nos períodos de baixa disponibilidade pluviométrica, reiterando o que foi exposto para os íons maiores, indicando o potencial risco dessas águas no seu uso primário, que é a irrigação das áreas do perímetro irrigado Poção da Ribeira.

A composição química de lagos rasos situados na bacia de drenagem do rio Salado, na Província de Buenos Aires, Argentina, foi investigada por Cirelli *et al.*, (2004). Neste trabalho foi demonstrado que 100% das águas superficiais da região estudada se mostrou fortemente alcalina (Na^+ e K^+), 83,3 % não apresentaram dominância do tipo aniônico e 16,7% foram classificadas como cloretadas.

Figura 26 – Diagrama de Piper para as águas do reservatório Poção da Ribeira nos períodos secos do monitoramento.



Objetivando avaliar a qualidade da água para consumo humano e propósitos de irrigação, Sappa *et al.*, (2015), examinaram a variação sazonal da composição química das águas de um aquífero costeiro na cidade de Dar es Salaam, Tanzânia. A avaliação demonstrou que a hidroquímica é dominada por águas do tipo cloretadas sódicas e cloretadas cálcicas, os autores afirmam que esses aspectos são devidos aos processos de misturas e trocas iônicas associadas com a intrusão da água do mar.

Os principais processos responsáveis pela salinização das águas da Bacia de Lerna, localizado no município de Ejea de los Caballeros, em Zaragoza na Espanha, foram estudados por Merchán *et al.*, (2015). De acordo com as posições no diagrama de Piper, aos autores verificaram que as águas são predominantemente do tipo bicarbonatadas cálcicas, indicando a sua alta qualidade para fins de irrigação.

A evolução hidroquímica sazonal dos recursos hídricos subterrâneos costeiros em Urmia, Iram, foi investigada por Amiri *et al.*, (2015). O estudo revelou dominância de águas mistas (Ca-Mg-Cl) e águas bicarbonatadas cálcicas (Ca-HCO₃) nos períodos chuvoso e seco, respectivamente.

Da análise do diagrama para os períodos amostrais infere-se que há uma tendência das águas do reservatório, tanto para cátions quanto para os ânions, para a face mista das águas, indicando que para as águas superficiais do reservatório Poção da Ribeira a influência das precipitações pluviométricas, favorecendo o aporte de sais minerais originados na bacia de drenagem, causa alterações na composição iônica dessas águas, como visualiza-se na Tabela 17, que foram classificadas predominantemente como sódica/cloretada durante a primeira fase do monitoramento e se mostraram cloretada/mista e mista/mista durante a segunda fase.

Tabela 17 – Classificação das águas quanto aos íons dominantes

PERÍODOS AMOSTRAIS	CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS	
	CÁTIONS	ÂNIONS
CH. 13	Sódica	Cloretada
SE. 13	Sódica	Cloretada
CH. 14	Mista (Na ⁺ + Mg ²⁺)	Cloretada
SE. 14	Sódica	Cloretada
INT. 15	Sódica	Cloretada
CH. 15	Mista (Na ⁺ + Mg ²⁺)	Mista (Cl ⁻ + HCO ₃ ⁻)
SE. 15	Sódica	Cloretada

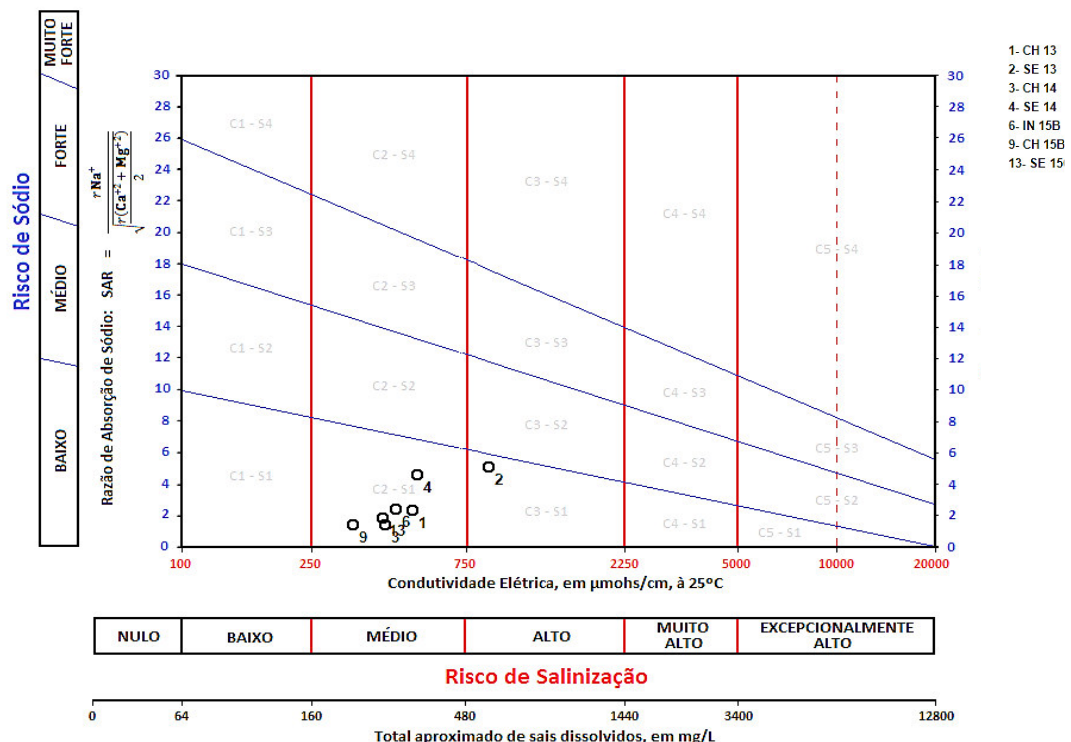
5.10. QUALIDADE DA ÁGUA PARA PROPÓSITOS DE IRRIGAÇÃO

O reservatório Poção da Ribeira foi construído durante o projeto Chapéu de Corro, tendo como principal objetivo o fornecimento de água ao perímetro irrigado Poção da Ribeira. Ainda hoje o uso das águas do reservatório tem como um dos seus principais propósitos a irrigação, e portanto, a avaliação da qualidade da água quanto ao seu uso nesse propósito torna-se indispensável, servindo de ferramenta útil à gestão das águas desse manancial.

O método de classificação das águas para propósitos de irrigação proposto pelo *United States Salinity Laboratory* (USSL) de Riverside é um dos mais aceitos para este fim, tal método baseia-se na *razão de adsorção de sódio* (RAS) e na concentração total de sais expressa pela condutividade elétrica da água. Este método correlaciona os critérios de qualidade da água no qual se baseia (RAS e CE) em um diagrama de dispersão, conhecido como Diagrama de Wilcox, onde a localização do ponto neste diagrama indica a sua classificação (C_iS_j).

Os distintos períodos amostrais foram classificados quanto ao uso das águas para propósitos de irrigação, resultando em um diagrama de dispersão, apresentado na Figura 27, onde os pontos localizados neste diagrama representam as campanhas de amostragem ocorridas durante o monitoramento da qualidade da água do reservatório Poção da Ribeira. Cabe ressaltar que devido à variação espacial do conteúdo iônico das águas não ser significativa, cada campanha ocorrida no ano de 2015 foi representada por um ponto.

Figura 27 – Diagrama de Wilcox para a classificação das águas



No diagrama de Wilcox para as águas do corpo d'água estudado, verifica-se que, com exceção do ponto 2, que representa SE.13, todos os demais pontos encontram-se na região de classificação C_2S_1 , indicando risco médio de salinização e baixa risco de sodicidade.

Para SE.13, único ponto discordante, a classificação apresentada foi C_3S_1 , devido ao alto valor de CE apresentada nesse período amostral, indicando que as águas em SE. 13 possuíram risco alto de salinização.

Almeida *et al.*, (2007), realizaram estudo em 6 reservatórios pertencentes à bacia do rio Acarú, no estado do Ceará, objetivando classificar as águas quanto ao uso na irrigação. Neste trabalho foi constatado que a maioria dos reservatórios estudados apresentou baixo risco de salinidade, sendo classificados em $C_1 - S_1$, e que a sazonalidade não foi significativa para a variação da classificação das águas quanto ao uso na irrigação.

No Perímetro Irrigado Cachoeira II, no município de Serra Talhada, Pernambuco, Fernandes *et al.*, (2009), realizaram levantamento da variação da qualidade da água das principais fontes de abastecimento desse perímetro. No trabalho constatou-se que a água utilizada para irrigação no Perímetro Irrigado Cachoeira II apresenta risco de salinização e sodificação em época do ano específica, havendo predominância de águas cloretadas sódicas, independente do nível de salinidade, sendo que as águas dos poços apresentaram os maiores valores de CE indicando maior risco do seu uso para a irrigação.

Objetivando traçar um perfil da qualidade da água de nascentes para propósitos de irrigação, Bhandari e Joshi (2013), utilizaram a classificação da água para propósitos de irrigação e o diagrama de Wilcox. Os autores verificaram que cerca de 98% dos recursos hídricos analisados estão classificados como $C_1 - S_1$ e $C_1 - S_2$ durante o período estudado demonstrando que as águas das nascentes na região de Almora possuem baixa concentração iônica e efeito negativo irrelevante dos sais, sendo assim adequadas ao uso para a irrigação.

Desta forma, verifica-se que, apesar das concentrações de Na^+ se apresentarem muito superiores que as dos demais cátions durante todo o monitoramento, as concentrações desse íon ainda são baixas, ao ponto de as águas do reservatório Poção da Ribeira não apresentam riscos de sodicidade, sendo classificadas como S_1 , ao solo pelo uso na irrigação. Quanto ao risco de salinização, vale ressaltar que a classificação foi realizada com amostras de água superficiais, e como foi demonstrado na avaliação da estratificação da coluna d'água, mesmo em períodos chuvoso o hipolímnio apresenta altos valores de CE, revelando a baixa taxa de renovação dessas águas, o que favorece o processo de salinização, e consequente inviabilização das águas do reservatório para o seu propósito de origem, que é a irrigação.

6. CONCLUSÕES

O reservatório Poção da Ribeira está localizado no Agreste Central do estado de Sergipe, Nordeste do Brasil, foi originado do barramento do rio Traíras, durante o projeto Chapéu de Coro com conclusão da obra no ano de 1987. Possui capacidade de acumulação de 16,5 hm³ e tem como propósito original a irrigação das terras agricultáveis do Perímetro Irrigado Poção da Ribeira, um importante centro produtor de hortaliças do estado de Sergipe. Atualmente as águas do reservatório também são utilizadas para a piscicultura e abastecimento, após tratamento, das comunidades circunvizinhas.

O monitoramento da qualidade da água foi realizado em duas fases, com realização de 07 campanhas de amostragem, 03 em período chuvoso, 03 em período seco e 01 em período intermediário (entre estações seca e chuvosa), compreendidas no intervalo de tempo de junho de 2013 a novembro de 2015. Em cada amostra de água foram determinados os seguintes parâmetros: temperatura, turbidez, pH, alcalinidade, dureza, oxigênio dissolvido, carbono orgânico dissolvido, coliformes termotolerantes, fósforo total, fosfato (PO_4^{3-}), nitrogênio amoniacal (NH_3), nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-), condutividade elétrica (CE), sólidos totais dissolvidos (STD), sódio (Na^+), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), bicarbonatos (HCO_3^-), sulfatos (SO_4^{2-}) e cloretos (Cl^-). O perfil da coluna d'água foi determinado utilizando sonda multiparamétrica YSI EXO1, com a determinação dos seguintes parâmetros: temperatura, pH e CE.

As águas do reservatório Poção da Ribeira mostraram significativa variação sazonal dos parâmetros da qualidade, onde variáveis como turbidez, concentração de nutrientes e pH se mostraram dependentes do regime de chuvas da região, evidenciando a forte relação existente entre os fatores climáticos e as características dos corpos hídricos. No ano de 2015 a aporte hídrico durante a estação das chuvas provocou a elevação das concentrações de nutrientes, resultante da drenagem de áreas agricultáveis, superando em muitas vezes os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05 para águas doce classe 2.

A coluna d'água mostrou uma estratificação térmica das águas no período seco, com formação de termoclina na profundidade de 2 – 4 m, apresentando variação superior a 0,2 °C.m⁻¹. No período chuvoso foi observada uma estratificação térmica na camada superficial (0 – 2 m), com variação de 0,51 °C.m⁻¹. Abaixo de 2 m a temperatura permaneceu uniforme com variação de 0,12 °C.m⁻¹. Também em CH.15, foi constatada a existência de um aumento

significativo da CE para as camadas abaixo de 8 m de profundidade, alcançando valores similares aos encontrados no demais período amostrais.

A análise de agrupamento separou as amostra em função dos períodos seco e chuvoso, mas não mostrou similaridade entre os períodos sazonais. Para um mesmo período, as amostras distribuídas espacialmente foram similares. A análise de componentes principais indicou que a condutividade elétrica e a alcalinidade foram os parâmetros principais, que explicaram as variações na qualidade da água do reservatório.

Os resultados da avaliação da geoquímica mostraram que as águas do reservatório são predominantemente cloretadas, ocorrendo mudança para águas bicarbonatadas em períodos de excedente hídrico. O sódio foi o cátion predominante, apesar disso, o risco de sodicidade foi classificado como baixo e o risco de salinização foi classificado como médio.

Os resultados aqui obtidos demonstram que ações de gerenciamento do reservatório são necessárias para minimizar o processo de salinização. A descarga de fundo, em períodos de cheia, pode ser uma alternativa útil para diminuir a condutividade elétrica e os sólidos totais dissolvidos na água do hipolímnio.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. G.; RESENDE, C. E.; SOUZA, C. M. M. Variação temporal, transporte e partição de Hg e Carbono Orgânico nas frações particuladas e dissolvida da coluna d'água da bacia inferior do rio Paraíba do Sul, RJ, Brasil. **Geochimica Brasiliensis**, v. 21, n. 1, p. 111-128. 2007.
- ALMEIDA, M. M. M.; ALEXANDRE, A. M. B.; ARAÚJO, L. F. P.; FIGUEIREDO, M. C. B.; ROSA, M. de F. **Qualidade das águas da bacia do rio Acaraú – CE para irrigação**. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo – SP, 2007.
- AMIRI, V.; NAKHAEI, M.; LAK, R.; KHOLGHI, M. Assessment of seasonal groundwater quality and potential saltwater intrusion: a study case in Urmia coastal aquifer (NW Iran) using the groundwater quality index (GQI) and hydrochemical facies evolution diagram (HFE-D). **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, p. 1-12, 2015.
- ANDRADE, E. M.; ARAÚJO, L. F. P.; ROSA, M. F.; GOMES, R. B.; LOBATO, F. A. O. Fatores determinantes da qualidade das águas superficiais na bacia do Alto Acaraú, Ceará, Brasil. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, p.1791-1797. 2007.
- America Public Health Association – APHA, **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**, Washington, DC, 1999.
- ARAÚJO, J. C. Recursos Hídricos em regiões semiáridas. p.33. In: GHEYI, H. R.; PAZ, V. P. S.; MEDEIROS, S. S.; GALVÃO, C. O. (Ed.) **Recursos Hídricos em regiões semiáridas: estudos e aplicações**, 258p. Instituto Nacional do Semiárido – INSA e Universidade Federal do Recôncavo Bahiano – UFRB, 2012.
- ASFORA, M. C.; CRIRILO, J. A. Reservatórios de regularização: alocação de água para usos múltiplos com diferentes garantias, **REGA: Revista de Gestão de Águas da América Latina**, v.2, n. 2, p. 27-38, 2005.
- AYRES, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. (Tradução), Campina Grande: UFPB, 218 p, 1991.
- BARBOSA, J. E. L. **Dinâmica do fitoplâncton e condicionantes limnológicos nas escalas de tempo (nictemeral/sazonal) e de espaço (horizontal/vertical) no açude Taperoá II: trópico semi-árido nordestin**. 2002. 208f. Tese (Ecologia e Recursos Naturais). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos-SP, 2002.
- BARBOSA, J. E. L.; ANDRADE, R. S.; LINS, R. P.; DINIZ, C. R. Diagnóstico do estado trófico e aspectos limnológicos de sistemas aquáticos da Bacia do Rio Taperoá, Trópico semiárido Brasileiro, **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Suplemento Especial, nº 1, 2006.
- BARRETO, A. S. **Estudo da distribuição de metais em ambiente lótico, com ênfase na assimilação das comunidades biológicas e a sua quantificação no sedimento e água**. 1999. 274f. Tese. Universidade de São Paulo. São Carlos – SP, 1999.
- BARRETO, P. R.; GARCIA, C. A. B. Caracterização da qualidade da água do açude Buri – Frei Paulo/SE, **Scientia Plena** v. 6, n 9, 2010.

BERTRAND, A.; BALLON, M.; CHAIGNEAU, A. Acoustic observation of living organism reveals the upper limit of the oxygen minimum zone. **PLos ONE journal.pone**. v.5 n.4. 9p. 2010.

BHANDARI, N. S.; JOSHI, H. K. Quality of spring water used for irrigation in the Almora District of Uttarakhand, India. **Chinese Journal of Geochemistry**, v. 32, p 130-136, 2013.

CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT – CCME. Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life. CCME, Canada 2012, 146p. Disponível em: <<http://www.ccme.ca>> Acesso em: fev. 2016.

_____. Guidance manual for developing nutrient guidelines for rivers and streams. Canada, CCME 2016, 105p. Disponível em: <<http://www.ccme.ca>>. Acesso em: fev. 2016.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS E IRRIGAÇÃO DE SERGIPE – COHIDRO. Perímetro irrigado Poção da Ribeira. In: Histórico dos perímetros, características geofísicas e demográficas. Sergipe, 2011. Disponível em: <http://www.cohidro.se.gov.br> . Acesso em: ago. 2014.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. Variáveis da qualidade das águas, São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>> . Acesso em: jan. 2015.

_____. Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras: Água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. Brasília-DF, 327p., 2012. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>> . Acesso em janeiro de 2015.

_____. *Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis da Qualidade da Água*, in Relatório de Qualidade das Águas Superficiais do Estado de São Paulo, 2013. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br> . Acesso em fevereiro de 2015.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. Classifica as águas doces, salobras e salinas e estabelece os parâmetros e limites associados aos níveis de qualidade requeridos para seu aproveitamento. IBAMA, Brasília – DF, 2005.

CHAPMAN, D. **Water Quality Assessments – A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environment Monitoring**. Second Edition. 1996.

CHAPMAN, D.; KIMSTACH, V. Selection of water quality variables. p. 51-119, In: CHAPMAN and HALL. An introduction to water quality. Water quality assessments. 651p. London, UK, 1992.

CIRELLI, A. F.; MIRETZKY, P. Ionic reactions: a tool for studying hydrogeochemical processes in Pampean shallow Lakes (Buenos Aires, Argentina). **Quaternary International** v. 114. p 113-121. 2004.

COLOSO, J. J.; COLE, J. J.; PACE, M. L.; Short-term variation in thermal stratification complicates estimation of lake metabolism. **Aquatic Sciences**, v. 73 n.2. p. 305-315. 2011.

CORDEIRO, G. G. **Qualidade de água para fins de irrigação (Conceitos Básicos e práticas)**. Embrapa Semi-Árido, Petrolina- PE. 34p. 2001.

CRUZ, R. C., CRUZ, J. C., DA SILVEIRA, G. L., VILELLA, F. S. Tendências na Análise de Impactos da Implementação de Barragens: Lições do Estudo de Caso das Barragens de Uso Múltiplo da Bacia do Rio Santa Maria, **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 15, p. 47-66, 2010.

CRUZ, H. C; FABRIZY, N. L. P. Impactos Ambientais de Reservatórios e Perspectivas de Uso Múltiplo, **Revista Brasileira de Energia**. v. 4. n 1. 1995.

CUSTÓDO, E.; LLAMAS, M. R. **Hidrologia Subterrânea**, 2ª Ed. Barcelona: Ediciones Omega. 2350p. 1983.

DAVIS, J. C. **Statistics and data analysis in geology**. 2ª Ed, 646p. New York: John Wiley e Sons. 1986.

DIXON, W., CHISWELL, B. Review of aquatic monitoring program. **Water Research**, v. 30. p. 1935-1948, 1996.

DREVER, J. I. **The geochemistry of natural waters**, 3ª ed, Prentice-Hall. Upper Saddle River. NJ. 1997.

ELÇI. S. Effects of thermal stratification and mixing on reservoir water quality. **Limnology** v. 9. p 135-142. 2008.

ESKINAZI-SANT'ANNA, E. M.; MENEZES, R.; COSTA, I. S.; PANOSSO, R. F.; ARAÚJO, M. F.; ATTAYDE, J. L. Composição da Comunidade Zooplancônica em Reservatórios Eutróficos do Semi-Árido do Rio Grande do Norte. **Oecologia Brasiliensis**, v. 11. n.3. p. 410-421. 2007.

FEE, E. J.; HECHY, R. E.; KASIAN, S. E. M.; CRUIKSHANK, D. R.; Effects of lake size, water clarity, and climate variability on mixing depths in Canadian Shield lakes. **Limnology and Oceanography**, v. 41. n. 5. p. 912-920. 1996.

FERNADES, C.E. M. **Desempenho da barragem Poção da Ribeira face aos abalos sísmicos oriundos de uma pedreira próxima em exploração**. In: Anais do XIX Seminário Nacional de Grandes Barragens, Aracaju, p. 35-42, 1991.

FERNADES, L. F.; LAGOS, P. D.; WOSIACK, A. C.; PACHECO, C. V.; DOMINGUES, L.; ALVES, L. Z.; ANDREOLI, C. V.; CARNEIRO, C. Comunidades Fitoplancônicas em Ambientes Lênticos. In: ANDREOLI, C. V.; CARNEIRO, C. (Org.) **Gestão Integrada de Mananciais de Abastecimento Eutrofizados**. Editora Gráfica Capital. p. 303-366, Curitiba, 2005.

FERNANDES, J. G.; FREIRE, M. B.G. dos S.; CUNHA, J. C.; GALVÍNCIO, J. D.; CORREIA, M. M.; dos SANTOS, P. R. Qualidade físico-química das águas utilizadas no Perímetro Irrigado Cachoeira II, Serra Talhada, Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v.4. n.1. p.27-34. UFRPE. Recife – PE. 2009.

FONTES, A. S.; MEDEIROS, Y. D. P.; OLIVEIRA J. I. R.; ZUCCHI, M. R.; CIDREIRA, M. A. S.; ALMEIDA, R. B. **Análise espaço-temporal da evolução da salinidade na bacia experimental e representativa da UFBA no período de junho de 2006 a abril de 2007**. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. São Paulo – SP. 2007.

- FREIRE, R.H.F. **Contribuição ao conhecimento limnológico de reservatórios do semi-árido brasileiro que abastecem a região metropolitana de Fortaleza: Açudes Pacajus e Gavião (Ceará, Brasil)**. 2007. 246f. Tese (Hidráulica e Saneamento). Escola de Engenharias de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos-SP. 2007.
- GARCIA, C. A. B.; ALVES, J. P. H. Qualidade da água. Relatório de Pesquisa – LQA/UFS. In: Diagnóstico e avaliação da sub-bacia do rio Poxim. Relatório de Pesquisa – UFS/FAPESE. São Cristóvão, 2006.
- GARCIA, H. L.; SILVA, V. L.; MARQUES, L. P.; GARCIA, C. A. B.; ALVES, J. P. H.; SILVA, M. G.; CARVALHO, F. O. Nível trófico do reservatório de Jacarecica I – Sergipe – Brasil. **Scientia Plena**, v. 8. n. 7. 2012.
- GASTMANS, D. **Hidrogeologia Hidroquímica do Sistema Aquífero Guarani na Porção Ocidental da Bacia Sedimentar do Paraná**. 2007. 238f. Tese (Geociências e Meio Ambiente) Universidade Estadual Paulista. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro – SP. 2007.
- GIBBS, R. J. Mechanisms Controlling World Water Chemistry. **Science**. v. 170. n. 3962. p. 1088-1090. 1970.
- GOULART, R. G. Análise da qualidade da água e dos sedimentos da parte superior do rio Piranga. 2008. 108f. Dissertação (Engenharia Ambiental – Recursos Hídricos). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto – MG, 2008.
- GRANJEIRO, M. L.; SANTIAGO, M. M. F.; SILVA, C. M. S. V.; FRISCHKORN, H. TEIXEIRA, Z. A.; MENDES FILHO, J. **Razões Iônicas e Índices de Langelier e Larson no estudo Hidrogeoquímico das Águas Subterrâneas no município de Quixeré – Ceará**. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Campo Grande – MS, 2009.
- GULER, C.; THYNE, G.D.; MCCRAY, J.E.; TURNER, A. K. Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data. **Hydrogeology Journal**. v.10. p. 455-474. 2002.
- GUPTA. S.; BANERJEE, U. S. Geochemistry of the river Damodar – the influence of the geology and weathering environment on the dissolved load. **International journal of geomatics and geosciences**. v. 2. n. 3. 2012.
- HAMMER, O.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis – PAST. **Paleontologia Electronica**, v. 4. n. 1. 2001.
- HAO, J.; CHEN, Y.; WANG, F.; LIN, P. Seasonal thermocline in the China Seas and northwestern Pacific Ocean. **Journal of Geophysical Research**. v. 117 n.C2. 2012.
- HELENA, B.; PARDO, R.; VEGA, M.; BARRADO, E.; FERNANDEZ, J.M.; FERNANDEZ, L. Temporal evolution of groundwater composition in the alluvial aquifer (Pisuerga River, Spain) by principal component analysis. **Water Research** v 34. p 807-816, 2000.
- HELLAWELL, J. M. Biological Indicators of freshwater pollution and environmental management. **Elsevier Applied Science**. (Pollution Monitoring Series). London, 1989.

HEM, J. D. **Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water**. U. S. Geological Survey, 272 p. Unit States, 1985.

HENRY, R. **Ecologia de reservatórios: Estrutura, função e aspectos sociais**. Botucatu: Fundibio/Fapesp, 1999.

HOLT, M. S. Sources of chemical contaminants and routes into the fresh water environment. **Food and Chemical Toxicology**. v 38. p. 221-227. 2000.

JÖRGENSEN, S. E. Management Tools. In: JÖRGENSEN, S. E., LOFFLER, H. **Guidelines for lake management – Lake shore management**. v. 3, ILEC/UNEP, 170p., 1990.

KNAPIK, H. G.; FERNANDES, C. V. S.; AZEVEDO, J. C. R.; FRANÇA, M. S.; PORTO, M. F. A. **Dinâmica da matéria orgânica em águas naturais: Estudo de caso do rio Iguaçu**. In: XVIII Simpósio Nacional de Recursos Hídricos. 20 p. Campo Grande – MS. 2009.

KUMAR, K. S.; LOGESHKUMARAN, A.; MAGESH, N. S.; GODSON, P. S. CHANDRASEKAR, N. Hydro-geochemistry and application of water quality index (WQI) for groundwater quality assessment, Anna Nagar, part of Chennai City, Tamil Nadu, India. **Applied Water Science**. p. 1-9, 2014.

LACERDA, M. A.; COSTA, J. P. M.; LIMA, G. A. de.; NOBRE, R. G.; SILVA, R. A.; ANDRADE, A. B. A.; SANTOS, E. F. dos.; SILVA, Z. L. Análise de água de poço tubular na comunidade Boa Vista, no município de Ipueira – RN (Relatório Técnico). In: **Informativo Técnico do Semiárido**. v. 8. n. 1. p. 01-05, Pombal – PB, 2014.

LEPRUM, J. C. Primeira Avaliação das Águas Superficiais do Nordeste: Relatório de fim de convênio de manejo e conservação do nordeste brasileiro. SUDENE-DRN, p 91-141, Recife – PE, 1983.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Editora: Átomo, 444p. Campinas – SP, 2005.

LIMA, J. E. F. W. **Recursos hídricos no Brasil e no Mundo**. Planaltina-DF, 44p. 2001.

LIMA, R. S. **Qualidade da água dos reservatórios situados na bacia hidrográfica dos rios Piauí – Real: Uma avaliação com base em técnicas estatísticas multivariadas e razões iônicas**. 2015. 102f. Dissertação (Recursos Hídricos) Uversidade Federal de Sergipe. São Cristovão – Se. 2015.

LIMA, W. S.; GARCIA, C. A. B. Qualidade da Água em Ribeirópolis-SE: O Açude do Cajueiro e a Barragem do João Ferreira. **Scientia Plena**. v. 4. n. 12. 2008.

LUCENA, R. L.; MENEZES, M. de F.; SASSI, R. Qualidade da água de reservatórios nas distintas zonas climáticas da Paraíba, **Mercator – Revista de Geografia da UFC**, v 7. n. 10. p 87-97. 2008.

MA, X.; LI, Y.; ZHANG, M.; ZHENG, F.; DU, S. Assessment and analysis of non-point source nitrogen and phosphorus loads in the Three Gorges Reservoir Area of Hubei Province, China. **Science of the Total Environment**. p. 154-161. 2011.

MACÊDO, J. A. B. **Introdução à química Ambiental**. CRQ-MG, 1ª edição. Juiz de Fora, 2002.

MACÊDO, J. A. B. **Métodos laboratoriais de análises físico-químicas e microbiológicas**. 2 ed. Belo Horizonte: CRQ-MG, 450 p, 2003.

MANSOR, M.T.C.; FILHO, J.T.; ROSTOM, D.M. Avaliação preliminar das cargas difusas de origem rural em uma sub-bacia do Rio Jaguari, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 10. n. 3. Campina Grande, 2006.

MARGALEF, R. **Limnologia**. Barcelona: Omega, 1983.

MATSUZAKI, M.; MUCCI, J. L. N.; ROCHA, A. A. Comunidade fitoplanctônica de um pesqueiro na cidade de São Paulo. **Revista Saúde Pública**. v. 38 n. 5. p. 679-686. 2004.

MENDONÇA, N. S. Sustentabilidade e usos múltiplos da água da barragem Poção da Ribeira – SE. 2013. 225f. Dissertação (Desenvolvimento e Meio Ambiente). Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão – SE, 2013.

MERCHÁN, D.; AUQUÉ, L. F.; GIMENO, M. J.; CAUSAPÉ, J. Geochemical processes controlling water salinization in an irrigated basin in Spain: Identification of natural na anthropogenic influence. **Science of the Total Environment**. v. 502. p. 330-343. 2015.

MIRANDA, T. L. G. de; BRASSAC, N. M.; PRESTES, E. C.; MÜLLER, I. I.; PEREIRA, P. S. **Estudo dos processos de estratificação em grandes reservatórios da bacia do rio Iguaçu**. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 12 p. Campo Grande – MS. 2009.

MÖBÜS, G. QUALIGRAF. Programa para análises da qualidade da água. FUNCEME, 2014. Disponível em <http://www.funceme.br/qualigraf/> . Acesso em: mar. 2015.

MUCCI, J. L. N.; SOUZA, A.; VIEIRA, A. M. Estudo ecológico e sanitário do lago do Parque do Guaraciaba em Santo André, São Paulo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 9 n. 1. p. 13-25. São Paulo. 2004.

NÉGREL P. Water–granite interaction: Clues from strontium, neodymium and rare earth elements in soil and waters. **Applied Geochemistry**. v. 21. p. 1432-1454. 2006.

PAZ, V. P. da S.; TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente (Comunicado Técnico). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 4. n. 3. p 465-473. 2000.

PAYNE, A. I. **The ecology of tropical lake and rivers**, John Wiley and Sons, 301p. Chichester, New York, Toronto, Brisbane, Singapore, 1986.

PEREIRA, L.; SANTIAGO, M. M. F.; FRISCHKORN, H.; ARAÚJO, J. C.; LIMA, J. O. G. **Hidroquímica de Águas Superficiais e Subterrâneas da Bacia da Gameleira, Município de Aiuaba/Ce**. In: XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 18p. Cuiabá-MT, 2004.

PERES JÚNIOR, J. B. R. **Caracterização Geoquímica e Classificação das Águas dos Rios São Bartolomeu, Couros e Tocantinzinho – Chapada dos Veadeiros, GO**. 2013. 76f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade de Brasília. Brasília – DF. 2013.

PERH - **Plano Estadual de Recursos Hídricos de Sergipe**. Sumário Executivo, Sergipe, 2010.

PRADO, R. B. Manejo integrado de reservatórios destinados a uso múltiplo como perspectiva de recuperação da qualidade da água. **In: Recursos Hidroenergéticos, usos, impactos e planejamento integrado**. Ed RiMa, São Carlos, 2004.

REKHA, P. N.; RAVICHANDRAN, P.; GANGADHARAN, R.; BHATT, J. H.; PANIGRAHI, A.; PILLAI, S. M.; JAYANTHI, M. Assessment of hydrogeochemical characteristics of groundwater in shrimp farming areas in coastal Tamil Nadu, India. **Aquaculture International**. v. 21. p. 1137-1153. 2013.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and álcali soils**. Washington D.C.: US. Salinity Laboratory. 160p. 1954.

RODRIGUES, L.M.; SCHWARZBOLD, A.; OLIVEIRA, M.A. Spatial and temporal variation of Dona Francisca reservoir (Jacuí river, Rio Grande do Sul State), a subtropical reservoir. **Acta Scientiarum**, v. 34. n. 3. p. 279-288. Maringá. 2012.

RUAS, A. L. Avaliação das alterações da qualidade de águas tropicais decorrentes da instalação de barramentos para fins de geração de energia elétrica – Estudo de caso do rio Pomba. 2006. 133f. Dissertação (Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte – MG, 2006.

SANTOS, J. S.; OLIVEIRA, E.; MASSARO, S. Avaliação da salinização de açudes no semi-árido brasileiro por ICP-AES. **Química Nova**. v. 23. n 4. 2000.

SANTOS, J. S.; SANTOS, M. L. P.; ALEXANDRINO, D.M. Comparative study of the salinization process in surface water reservoirs located in two distinct regions in southwestern Bahia, Brazil. **Journal of the Brazilian Chemical Society**. v. 22. n. 8. p. 1418-1426. São Paulo. 2011.

SAPPA, G.; ERGUL, S.; FERRANTI, F.; SWEYA, L. N.; LUCIANI, G. Effects of seasonal change and seawater intrusion on water quality for drinking and irrigation purposes, in coastal aquifers of Dar es Salaam, Tanzania. **Journal of African Earth Sciences**. v. 105. p. 64-84. 2015.

SERGIPE, **Enciclopédiado municípios sergipanos**. Secretaria de Estado do Planejamento, Orçamento e Gestão – SEPLAG, p 231, Aracaju – Se, 2014.

SHRESTA, S.; KAZAMA, F. Assesment of surface water quality using multivariate statistical techiques: A case study of the Fuli river basin, Japan. **Environmental Modelling & Software**. v. 22. p. 464-475. 2007.

SHING, K.P.; MALIK, A.; MOHAN, D.; SINHA, S. Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India): a case study. **Water Research**. v. 38. p. 3980-3992. 2004.

SILVA, G. S.; MIOLA, S.; SILVA, G. S; SOUZA, E. R. Avaliação da qualidade das águas do rio São Francisco Falso, tributário do reservatório de Itaipu, Paraná. **Eclética Química**. v. 35 n. 3. p. 117-122. São Paulo, 2010.

SILVA, I. N.; FONTES, L. de O.; TAVELLA, L. B.; OLIVEIRA, J. B.; OLIVEIRA, A. C. Qualidade de água na irrigação, *Revisão da Literatura*. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**. v. 7. n. 3. p. 01-15. 2011.

STRASBRABA, M.; TUNDISI, J. G.; DUNCAN, A. **Comparitive reservoir limnology and water quality management**. Dordrecht. Kluwer. 291p. 1993.

UNIT STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. Method 300. Ion chromatography in environmental analysis. Cincinnati – OH, 2014.

TALLING, J. F.; pH, the CO₂ system and freshwater science. **Freshwater Reviews**, v. 3. p. 133-146. 2010.

TOLEDO Jr, A. P.; TALARICO, M. CHINEZ, S. J.; GARCIA E. G. **A aplicação de modelos simplificados para a avaliação de processo da eutrofização em lagos e reservatórios tropicais**. In: Anais do XII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, Camboriu, p. 1-34, 1983.

TUCCI, C. E. M.; MENDES, C. A. **Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica**. Ministério do Meio Ambiente/SQA. 302p, p 91-93, Brasília, 2006.

TUNDISI, J. G. e TUNDISI, T. M. **Limnologia**. Oficina de Textos, 631 p. São Paulo. 2008.

VAROL, M.; GOKOT, B.; BEKLEYEN, A.; SEN, B. Spatial and temporal variations in surface water quality of the dam reservoirs in the Tigris Rivers basin, Turkey. **Catena**. v. 92, p.11-21. 2012.

VAROL, M.; GOKOT, B.; BEKLEYEN, A.; SEN, B. Geochemistry of the Tigris River basin, Turkey: Spatial and seasonal variations of major ion compositions and their controlling factors. **Quaternary International**. v. 304. p. 22-32. 2013.

VEGA, M.; PARDO, R.; BARRADO, E.; DEBAN, L.; Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis. **Water Research** v. 32. p. 3581-3592. 1998.

VIEIRA, M.S.; MOURA, M.A.M.; FERREIRA, J.R. Estudo das variações sazonais dos íons dominantes na água e no sedimento da represa de Ibitinga (São Paulo, Brasil – 21°45’S e 48°50’W). **Arq. Inst. Biol.** v. 72. n. 4. p. 523-534. 2005.

Von SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**, 3 ed, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, Belo Horizonte, 452p 2005.

WILHELM, S.; ADRIAN, R.; Impact of summer warming on the thermal characteristics of a polymictic lake and consequences for oxygen, nutrients and phytoplankton. **Freshwater Biology**. v. 53 n. 2. p. 226-237. 2008.

APÊNDICE – A

Qualidade da água do reservatório Poção da Ribeira para os períodos intermediário (INT), chuvoso (CH) e seco (SE) de 2015.

PARÂMETROS	SEGUNDA FASE								
	INT. 15			CH. 15			SE. 15		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Temperatura (° C)	29,4	29,4	29,5	25,7	25,8	26,1	29,15	29,09	28,94
Turbidez (uT)	12,1	12,8	12,3	7,3	7,2	7,9	5,9	4,9	5,0
pH	9,4	9,3	9,0	6,53	7,59	7,55	8,4	8,4	8,4
Alc. (mg.L ⁻¹ CaCO ₃)	128,8	140,1	134,5	91,15	85,16	82,76	100,1	104,7	97,24
Dureza (mg.L ⁻¹ CaCO ₃)	103,1	105,3	103,6	73,35	69,19	65,15	104,7	94,26	80,6
OD (mg.L ⁻¹ O ₂)	8,23	10,07	6,64	50,39	49,26	45,16	8,02	8,19	7,94
COD total (mg.L ⁻¹)	14,69	15,08	15,16	18,14	17,86	18,81	15,38	15,38	15,36
Coliformes (NMP/100mL)	4,5	20	<1,8	170	790	330	7900	610	200
Fósforo total (mg.L ⁻¹)	0,03	0,03	<0,03	29,98	28,19	26,63	0,02	<0,03	0,03
P – PO ₄ ³⁻ (mg.L ⁻¹ P)	0,030	0,030	<0,016	5,00	4,96	4,92	0,020	<0,016	0,030
N – NO ₃ ⁻ (mg.L ⁻¹)	0,020	0,150	0,110	10,38	9,58	9,23	<0,011	0,020	<0,011
N – NO ₂ ⁻ (mg.L ⁻¹)	<0,015	<0,015	<0,015	11,55	11,02	10,26	<0,015	<0,015	<0,015
N – NH ₃ (mg.L ⁻¹)	<0,030	<0,030	0,020	2,8	2,75	6,25	<0,030	<0,030	<0,030
CE (µS.cm ⁻¹)	494,6	452,3	493,1	346,2	333,6	314,7	418,9	422,5	410,8
STD (mg.L ⁻¹)	277	253,3	276,1	193,9	186,8	176,2	234,6	236,6	230
Na ⁺ (mg.L ⁻¹)	55,20	57,30	56,65	29,98	28,19	26,63	39,57	39,29	38,95
K ⁺ (mg.L ⁻¹)	5,88	6,30	6,15	5,00	4,96	4,92	5,47	5,41	5,36
Ca ²⁺ (mg.L ⁻¹)	13,61	14,05	13,76	10,38	9,58	9,23	13,94	12,12	11,17
Mg ²⁺ (mg.L ⁻¹)	16,85	17,12	16,87	11,55	11,02	10,26	13,34	12,12	12,85
HCO ₃ (mg.L ⁻¹)	112,7	118,5	117,2	91,15	85,16	82,76	100,1	98,9	97,24
SO ₄ ²⁻ (mg.L ⁻¹)	4,60	4,85	4,65	5,34	5,47	5,17	5,69	5,63	5,78
Cl ⁻ (mg.L ⁻¹)	75,94	76,41	74,60	50,39	49,26	45,16	62,97	62,42	61,96

APÊNDICE – B

Variação Sazonal do nível do reservatório Poção da Ribeira em 2015

